



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

INGENIERÍA TÉCNICA TOPOGRÁFICA

PROYECTO FINAL DE CARRERA

LA TOPOGRAFÍA EN LA MEDICINA

Projectistas: Laura Aguilar López y Elisabeth Gayá Manzano

Directora: M. Amparo Núñez Andrés

Convocatoria: Junio/Julio 2013

INDICE

BLOQUE 1..... 3

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN..... 5

 1.1 OBJETIVOS..... 5

CAPÍTULO 2: TOPOGRAFÍA Y MEDICINA..... 6

 2.1 RELACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA CON LA MEDICINA..... 6

 2.2. CAMPOS DE LA MEDICINA EN LOS QUE SE APLICA LA TOPOGRAFÍA.... 7

 2.2.1 OFTALMOLOGÍA..... 7

 2.2.2 ORTOPEDIA 7

 2.2.3 ORTODONCIA..... 7

 2.2.4 CUERPO HUMANO 8

 2.3. INSTRUMENTAL..... 9

 2.3.1 TOPÓGRAFO CORNEAL 9

 2.3.2 INSTRUMENTOS BASADOS EN LUZ ESTRUCTURADA 11

 2.3.3 INSTRUMENTOS BASADOS EN LUZ LÁSER..... 14

CAPÍTULO 3: CONOCIMIENTOS BÁSICOS 18

 3.1. OFTALMOLOGÍA..... 18

 3.1.1 PARTES DEL OJO..... 18

 3.1.2 FORMA Y DIMENSIONES 19

 3.1.3 ZONAS DE LA SUPERFICIE CORNEAL 19

 3.1.4 DIRECCIONES SOBRE LA CORNEA..... 20

 3.1.5 PARAMETROS DE LA CORNEA..... 20

 3.1.6 USOS DE LA TOPOGRAFIA CORNEAL..... 21

 3.1.7 MÉTODOS DE CAPTURA DE DATOS 22

 3.1.8 MODELO DE ELEVACIONES 26

 3.2 CUERPO HUMANO..... 26

 3.2.1 MÉTODOS DE CAPTURA DE DATOS 26

 3.2.2 CÁMARAS CCD..... 27

 3.2.3 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS APARATOS 28

BLOQUE 2	31
CAPÍTULO 1; TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS.....	33
1.1 APARATOS UTILIZADOS	33
1.1.1 OFTALMOLOGÍA	33
1.1.2 CUERPO HUMANO	46
1.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
1.2.1 INTERPRETACIÓN DE MAPAS DE COLORES EN TOPÓGRAFOS CORNEALES	51
1.2.2 DEFORMACIONES DEL DISCO DE PLÁCIDO	51
1.2.3 TRIANGULACIÓN ÓPTICA.....	52
1.2.4 TRIANGULACIÓN DELANUAY	55
CAPITULO 2; SOFWARES	59
2.1. PROGRAMAS UTILIZADOS.....	59
2.1.1 MESHLAB – 123 CATCH AUTODESK.....	61
2.1.2. RADPIDFORM - MESHLAB - RHINOCEROS 3D.....	66
CAPITULO 3; ANÁLISIS	72
3.1 APARATOS	72
3.2 PROGRAMAS	74
BLOQUE 3	79
1. CONCLUSIONES.....	79
2. AGRADECIMIENTOS	80
3. BIBLIOGRAFÍA	81

BLOQUE 1

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en la revisión de algunos de los métodos topográficos que actualmente se pueden utilizar en diversas ramas de la medicina, la descripción de éstas, y el análisis de los productos que se pueden conseguir.

La memoria que se presenta consta de dos grandes bloques:

En el primer bloque encontramos por un lado, la relación que existe entre ambas materias y una explicación de todos los campos de la medicina donde encontraremos aparatos topográficos, así como los métodos e instrumental utilizados para obtener modelos 3D del cuerpo humano; y por otro lado un seguido de conceptos básicos médicos y topográficos.

En el segundo bloque nos introduciremos en la parte práctica, donde se describirán y analizarán los siguientes aparatos a los cuales hemos podido tener acceso;

- ORBSCAN; Topógrafo corneal utilizado en oftalmología. Proyecta una serie de círculos concéntricos sobre la imagen del ojo para estudiar sus deformaciones. Se realizará un estudio del aparato con el objetivo de conocer los diferentes resultados que obtenemos con el software de postprocesado.

- PENTACAM; Topógrafo corneal utilizado en oftalmología. Obtiene las imágenes de la córnea a través de una cámara rotacional digital. Se realizará un estudio del aparato con el objetivo de saber interpretar las imágenes obtenidas por el aparato y visualizadas en su correspondiente software.

- GO!SCAN 3D; Aparato de luz estructurada utilizado en el sector de la sanidad para mediciones corporales 3D. Se realizará una toma de datos y un posterior procesado de datos con técnicas propias de la geomática.

- EXASCAN 3D; Aparato láser utilizado en el sector de la sanidad para mediciones corporales 3D. Se realizará una toma de datos y un posterior procesado de datos con técnicas propias de la geomática.

1.1 OBJETIVOS

Los principales objetivos de este proyecto son: 1) analizar los métodos e instrumental utilizados para obtener modelos en tres dimensiones del cuerpo humano, 2) el estudio de los resultados obtenidos empleando estos métodos.

Para lo cual se realizarán pruebas empleando tanto el instrumental como los programas de tratamiento usados habitualmente para la obtención de modelos 3D de diversas partes del cuerpo humano.

CAPÍTULO 2: TOPOGRAFÍA Y MEDICINA

2.1 RELACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA CON LA MEDICINA

Para poder explicar la relación que existe entre la topografía y la medicina es necesaria la definición de ambos conceptos:

La **topografía** (de *topos*, "lugar", y *grafos*, "descripción") es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos para determinar la representación gráfica de la superficie de la tierra y debajo de la misma, con sus formas y detalles, mediante la combinación de medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección.

La topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala.

En cambio, el término de **medicina** hace referencia a la ciencia que permite prevenir y curar las enfermedades del cuerpo humano.

Para la consecución de sus fines, la medicina se sustenta en una serie de procedimientos:

- *Diagnóstico*, consiste en la recta identificación de los problemas que aquejan al paciente.
- *Tratamiento*, consiste en las disposiciones a tomar para aliviar las enfermedades.
- *Prevención*, consiste en las disposiciones tomadas para evitar males posibles.

Así pues, entendiendo la topografía en el ámbito de la medicina es la descripción anatómica de una zona corporal utilizando términos de la región en la cual se localiza¹. Ésta realiza los procedimientos y métodos necesarios con el fin de solventar alguno/s de los tres procedimientos descritos anteriormente.

En el ámbito de la medicina podemos encontrar maquinaria que utiliza métodos topográficos con los que se obtienen las muestras necesarias para su posterior análisis. Con estas muestras serán con las que los doctores obtendrán sus diagnósticos.

¹ http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/52773/topograf%C3%ADa

2.2. CAMPOS DE LA MEDICINA EN LOS QUE SE APLICA LA TOPOGRAFÍA

Antes de describir los campos en los que se emplea instrumental topográfico y describir éste, creemos importante reseñar que un mismo aparato se puede utilizar en diferentes campos de la medicina.

2.2.1 OFTALMOLOGÍA

Dentro del campo de la oftalmología, en muchas ocasiones es necesario estudiar la córnea en profundidad o bien para realizar un tratamiento sobre ella o bien por alguna patología de la misma. Pues una de las pruebas que nos ayuda a la exploración de esta capa es la Topografía Corneal; se trata de un examen computerizado mediante un aparato llamado **Topógrafo Corneal** o **Videoqueratoscopio**, que reconstruye la forma original de la cara anterior y posterior de la córnea a través de procesos digitales lo cual se traduce en mapas de código de colores.

La topografía corneal permite evaluar fundamentalmente la forma y la curvatura de la córnea, buscando la regularidad o irregularidad de su superficie anterior o posterior. Básicamente esta técnica consiste en la obtención de una representación gráfica de la superficie corneal (mapeo de las diferencias de curvatura) que nos permite conocer las medidas a lo largo de aproximadamente 11,5 mm de diámetro corneal, además de darnos una imagen cualitativa que se utiliza para valorar las irregularidades de la superficie corneal.

2.2.2 ORTOPEDIA

La ortopedia es una especialidad médica dedicada a corregir o evitar las deformidades o traumas del cuerpo humano, especialmente de huesos y músculos.

El fin de los siguientes **escáneres 3D (luz estructurada o láser)** es capturar información para el proceso de fabricación de accesorios o aparatos ortopédicos personalizados. Éste método es más eficiente en comparación con los métodos tradicionales.

El escáner analiza la zona de interés del paciente en segundos para crear una reproducción digital de un modelo 3D. Una vez escaneado, el médico es capaz de ver el modelo escaneado en un número de posiciones deseadas. Con la ventaja de no necesitar el transporte de moldes físicos de la clínica al laboratorio con la información del paciente.

2.2.3 ORTODONCIA

El proceso de exploración dental en tres dimensiones hace más rápido y más fácil la captura de medidas precisas de moldes dentales en pacientes.

En este caso no se realiza un molde a partir de los dientes del paciente sino que se digitaliza, mediante **escáneres 3D**, el molde ya creado para poder trabajarlo en el PC.

2.2.4 CUERPO HUMANO

El fin es capturar información del cuerpo humano mediante **escáneres 3D**, con una precisión cercana a la centésima de milímetro. A partir de ahí es posible analizar las representaciones obtenidas para un estudio médico o, mediante una impresora digital 3D, reproducir piezas de acuerdo a las características del sujeto.

2.3. INSTRUMENTAL

En este apartado se describirán algunos de los instrumentos empleados para las aplicaciones recogidas en el apartado anterior.

2.3.1 TOPÓGRAFO CORNEAL

GALILEI; Es un equipo fabricado por *Ziemer Ophthalmics* que combina disco de Plácido junto con doble cámara Scheimpflug. El sistema dual Scheimpflug ofrece dos imágenes del mismo plano corneal sin afectar al descentramiento y la combinación con el disco de Plácido permite no tener que interpolar información.

Captura imágenes para realizar estudios especializados y detallados del segmento anterior del ojo, incluyendo la córnea, el iris y el cristalino. El equipo toma todas las medidas necesarias para el control previo y posterior de la cirugía refractiva de forma rápida y fiable mediante su sistema de alineamiento de imágenes.

Además es capaz de generar cualquier tipo de combinación de mapas con valores y escalas.

PENTACAM²; Consiste en una cámara rotatoria de 360 grados basada en el método de Scheimpflug, que captura imágenes del segmento anterior del ojo que posteriormente son digitalizadas para configurar un modelo 3D.

Esta técnica proporciona imágenes nítidas y brillantes que incluyen medir de una manera muy precisa la parte central de la córnea, corrigiendo cualquier movimiento de ojos, con un tiempo de examen muy corto.

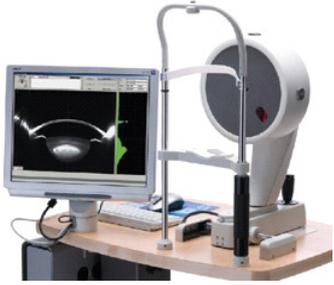
ORBSCAN³; Es un sistema que emplea tecnología de disco de Plácido combinada con escaneo por hendidura de la córnea que consiste en proyectar sobre la córnea la imagen de un disco compuesto por anillos concéntricos.

Permite estudiar la cara anterior y posterior de la córnea. Además ayuda a detectar el queratocono y otros problemas corneales que contraindican la cirugía refractiva.

² http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=051-NwHr_pU#!

³ <http://www.youtube.com/watch?v=Ck0iyKShTsA>

A continuación se muestra una tabla resumen del instrumental descrito.

TOPÓGRAFO CORNEAL			
Nombre	Imagen	Campo de la medicina	Características
GALILEI	 A white, compact corneal topographer with a circular lens and a small monitor displaying data.	Oftalmología	Disco de Plácido junto con doble cámara Scheimpflug
PENTACAM	 A corneal topographer with a large monitor showing a 3D corneal map and a complex mechanical structure.	Oftalmología	Cámara Scheimpflug
ORBSCAN	 A corneal topographer with a large, complex mechanical structure and a monitor displaying a 3D corneal map.	Oftalmología Estética	Haz de hendidura y disco de Plácido

2.3.2 INSTRUMENTOS BASADOS EN LUZ ESTRUCTURADA

HDI 3D SCANNERS; Éstos escáneres obtienen imágenes de alta definición (High Definition Imaging, HDI) para crear modelos digitales en 3D de los objetos físicos escaneados en pocos segundos.

Funciona como una herramienta sólida y flexible para la digitalización de los componentes y conjuntos de formas y tamaños. El aparato permite la obtención de información 3D de forma rápida y con una alta precisión.

Dentro de este apartado encontramos dos tipos de aparatos según la precisión y el tamaño de la zona o parte a escanear:

- HDI Blitz: Escaneo 3D fácil de usar y de alta precisión indicado para objetos no demasiado complejos y robustos. Escaneo en 0,9 segundos. Resolución de hasta 1,1 millones de puntos; 2,2 millones de polígonos. Precisión de hasta 120μ (0,0048”).

- HDI Advance: Es un sistema flexible para el escaneado de objetos complejos, de distintas formas y tamaños debido a que incluye un posible cambio del campo de visión (área observable que el sistema es capaz de capturar desde una distancia específica). Se puede cambiar mediante la colocación de las cámaras en diferentes ranuras predefinidas o mediante la sustitución de ellas por lentes de cámara intercambiables (accesorios opcionales). Escaneo en 0,88 segundos. Resolución de hasta 2,6 millones de puntos; 5,2 millones de polígonos. Precisión de hasta 50μ (0,002”).

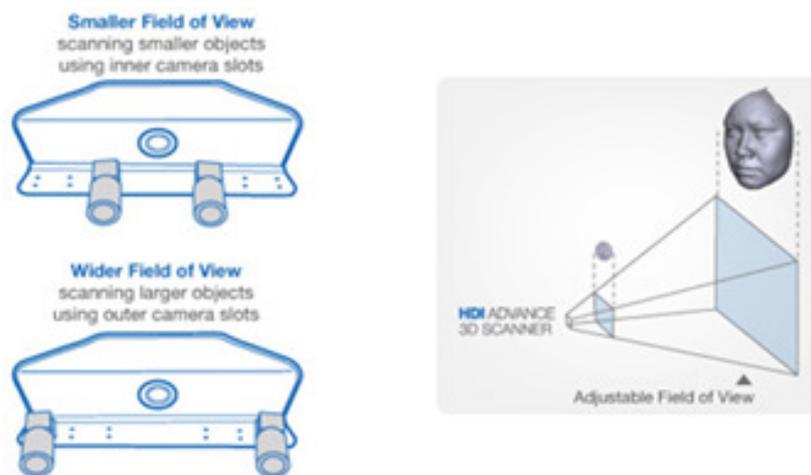


Figura 2.3.2.1: Cámara móvil HDI Advance

El instrumento suele venderse con un programa propio llamado *FlexScan3D* para crear modelos en tres dimensiones listos para su uso. Este software permite procesar los datos directamente en la etapa de captura además del procesado a posteriori. El resultado final puede exportarse en diferentes formatos en función de las necesidades del usuario, de forma que se puede realizar un tratamiento con programas distintos.

En las siguientes imágenes podemos ver algunos de los resultados que se pueden obtener:



Figura 2.3.2.2: Digitalización de un molde dental, mano y cara respectivamente

GO!SCAN; Es un escáner 3D de mano y portátil que ofrece una fuente de luz LED blanca que permite saltarse los pasos de preparación y configuración específicas, proporcionando una amplia área de digitalización y una muy alta velocidad de medición. Además dispone de posicionamiento automático a través de sistemas inerciales.

ARTEC EVA; Es un escáner 3D que emite una fuente de luz flash, similar a una cámara de video, que captura imágenes en tres dimensiones.

El escáner captura hasta 16 tomas por segundo. Estos cuadros son alineados de manera automática en tiempo real, lo que hace que el escaneo sea fácil y rápido.

Genera una malla homogénea de triángulos en los que incluye la infografía⁴ del objeto. Este proceso permite obtener información más específica de la figura, como pliegues, texturas, color.

Ofrece una resolución de hasta 0,5 mm y con colores vibrantes, y una precisión de 0,1 mm. Además no requiere marcadores ni calibración⁵.

⁴ Infografía: Proceso de digitalización que se basa en la creación de figuras en tres dimensiones a partir de diferentes imágenes en dos dimensiones.

⁵ <http://www.youtube.com/watch?v=TNiO0QmGGfE>

A continuación se muestra una tabla resumen del instrumental descrito.

LUZ ESTRUCTURADA			
Nombre	Imagen	Campo de la medicina	Características
HDI BLITZ		Ortopedia Ortodoncia Cuerpo humano	Tres cámaras fijas
HDI ADVANCE		Ortopedia Ortodoncia Cuerpo humano	Tres cámaras, dos de ellas móviles
GO!SCAN		Cuerpo humano	Dos cámaras fijas
ARTEC EVA		Cuerpo humano	Dos cámaras fijas

MEGACAPTUROR; Escáner que captura la textura y la geometría corporal, y hasta puede capturar el cabello. Es un instrumento muy flexible ya que puede combinar de 2 o 4 digitalizadores para formar un sistema de digitalización de cuerpo completo; y las imágenes capturadas pueden mostrar la persona entera en un único modelo 3D.

Los equipos se pueden montar en trípodes y son fáciles de trasladar.

3DVITUS; Genera en 12 segundos una modelo tridimensional completo del cuerpo humano. En base a los datos 3D obtenidos pueden relevarse medidas corporales de forma rápida y objetiva. La tecnología está basada en el proceso de seccionamiento de luz (triangulación óptica).

La exploración está integrada en cuatro columnas montadas en un ángulo de 90° aproximadamente en relación con el objeto a analizar. Lo que permite una alta precisión ya que analiza a la persona de la parte delantera izquierda, delantera derecha, lateral izquierdo y derecho simultáneamente, con lo que permite 360 grados de imágenes en 3D de la persona explorada.

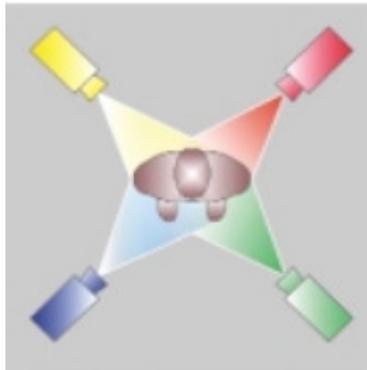


Figura 2.3.3.2: Disposición de cámaras

Las cuatro cámaras descienden a lo largo de su correspondiente columna escaneando el objeto, una vez escaneado se puede proceder a la edición de la figura mediante el software de postproceso⁷.

Con ayuda del software se visualizan los datos tales como longitudes, volumen y superficies de sección y se realiza mediciones exactas al milímetro. Una de sus aplicaciones más corriente es el cálculo de curvaturas de la superficie de espalda y se hacen visibles las asimetrías.

Se puede dar rápidamente declaraciones sobre lordosis lumbar y cifosis dorsal, así como mostrar cambios que se producen con el tiempo. Con ello permite crear una base de datos digital de los pacientes y así controlar y documentar desarrollos de tratamiento de forma rápida y sencilla.

Además, permite colocar marcadores 3D en el cuerpo antes de la exploración, para poder detectar puntos especiales de referencia como el hueso de la cadera y el hueso de la rodilla que a menudo son relevantes para mediciones ortopédicas.

⁷ http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=5mSqYAAxgvY

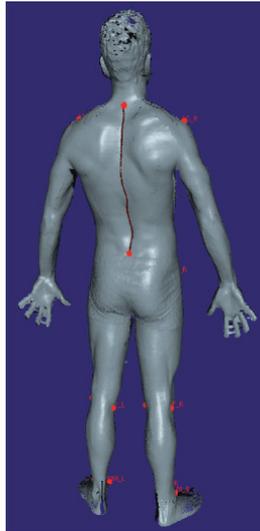


Figura 2.3.3.3: Colocación de marcadores para mediciones adicionales en ortopedia

EXASCAN; Es un digitalizador de tres cámaras portátil que escanea de forma rápida y precisa. Incorpora su propio sistema de posicionamiento. El sistema utiliza reflectores ópticos para crear un sistema de referencia "fijado" al objeto escaneado

A continuación se muestra una tabla resumen del instrumental descrito.

LUZ LÁSER			
Nombre	Imagen	Campo de la medicina	Características
O&P SCAN		Ortopedia	Una cámara y un proyector láser
YETI		Ortopedia	Sistema óptico formado por 4 proyectores láser y 8 cámaras
MEGACAPTUROR		Cuerpo humano	Combinación de 2 o 4 digitalizadores
3D VITUS		Cuerpo humano	4 columnas con un cámara cada una, situadas a 90º entre ellas
EXASCAN		Cuerpo humano	3 cámaras fijas

CAPÍTULO 3: CONOCIMIENTOS BÁSICOS

3.1. OFTALMOLOGÍA

3.1.1 PARTES DEL OJO

El ojo humano es el elemento fundamental del sentido de la visión junto con el cerebro. Se compone de varias partes principales:

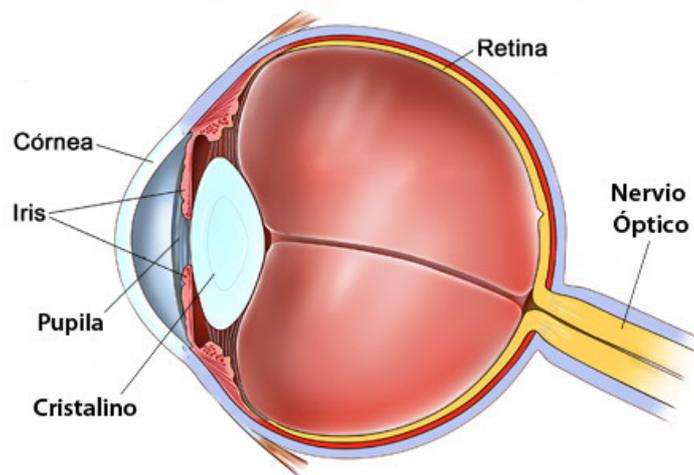


Figura 3.2.1.1: Partes del ojo

- El iris: Es la parte coloreada del ojo. Su función es regular la entrada de luz aumentando o disminuyendo su tamaño según la intensidad de la misma.
- La pupila: Es el orificio central del iris. Se dilata o contrae en función de la cantidad de luz existente.
- El cristalino: Es la parte del ojo humano que enfoca el haz de luz en la retina. Tiene forma de lente biconvexa y es la segunda lente más importante.
- La retina: Es la parte del ojo sensible a la luz.
- Nervio óptico: Conduce los impulsos nerviosos al cerebro para que se transforme en sensación visual.
- La córnea: Es la capa más superficial de ojo, es transparente, esférica y tiene un grosor aproximado de unas 550 micras. Protege al cristalino y al iris permitiendo el paso de la luz.

3.1.2 FORMA Y DIMENSIONES

El ojo está constituido por 2 casquetes esféricos contiguos de diferente radio de curvatura:

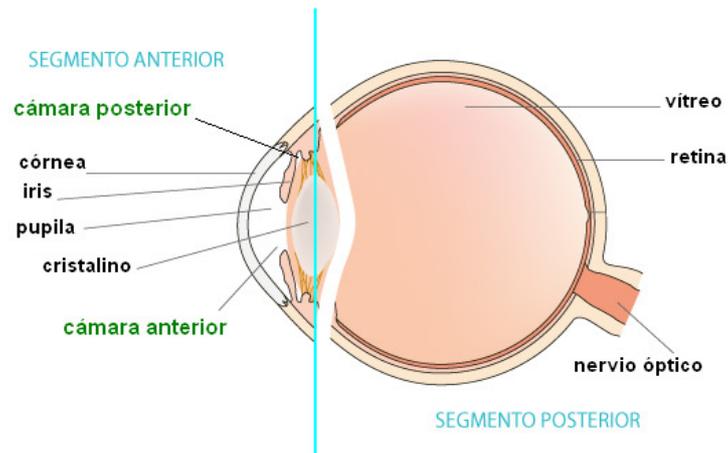


Figura 3.1.2.1: Segmentos del ojo

- El *segmento anterior*, llamado córnea, es más pequeño, transparente y constituye aproximadamente la sexta parte del globo ocular. Está limitado por la córnea y el cristalino y queda dividido de forma incompleta por el iris en una cámara anterior y una cámara posterior, comunicadas a través de la pupila.
- El *segmento posterior*, llamado bulbo ocular, es opaco y su radio de curvatura es de unos 11'5 a 12 mm.

Recordando su consideración geométrica como una esfera, en el globo ocular se pueden determinar 2 polos:

El *polo anterior* se corresponde con el centro de curvatura corneal, mientras que el *polo posterior* se corresponde con el centro de curvatura escleral. La línea recta imaginaria que conecta ambos polos constituye el eje óptico o geométrico.

3.1.3 ZONAS DE LA SUPERFICIE CORNEAL

Por convención se distinguen cuatro zonas concéntricas en la superficie corneal. Éstas son:

- *Zona óptica central*, tiene un diámetro aproximado de 4mm y también se la conoce con el nombre de zona apical, es la superficie más esférica, simétrica y ópticamente importante.
- *Zona paracentral*, es un anillo de aproximadamente 4 a 7 mm de diámetro concéntrica a la primera.
- *Zona periférica*, de 7 a 11 mm de diámetro, es donde la córnea se hace más plana y más asférica, por esta razón también se la conoce con el nombre de zona de transición.

- *Zona limbar*, es un anillo de aproximadamente de 0.5 mm que limita directamente con la esclera.

3.1.4 DIRECCIONES SOBRE LA CORNEA

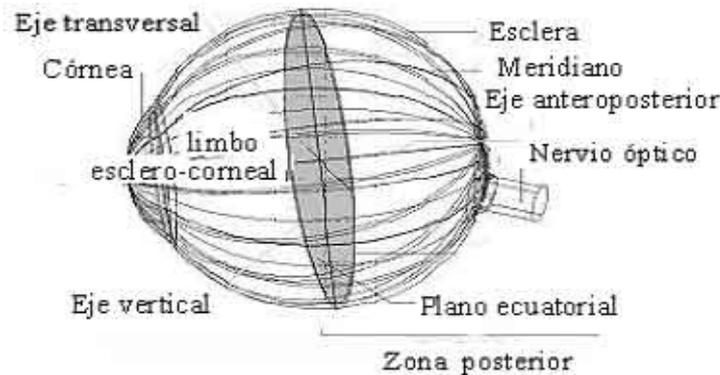


Figura 3.1.4.1: Direcciones de la cornea

- Los *meridianos* son líneas que cruzan todo el diámetro corneal, y lo hacen desde un punto sobre el limbo hasta otro punto diametralmente opuesto. Los meridianos se designan desde el de 0° hasta el de 180°, iniciando siempre a horas 3, del lado derecho de ambas córneas, y siempre en contra del movimiento de las manecillas del reloj.

- El término *eje*, es utilizado para designar el sitio sobre el cual se coloca el cilindro para la corrección de un astigmatismo en la superficie corneal.

A diferencia de la geografía terrestre, la córnea no tiene Norte ni Sur, por tal motivo cuando decimos que una sutura se encuentra en el meridiano de 90° no sabemos con precisión en qué lugar de ese meridiano esta, sí a las 12 horas o a las 6. Es por eso que aparece en la terminología la expresión "*semimeridiano*". Estos representan los diferentes radios que componen la superficie corneal.

De esta forma es fácil localizar cualquier punto de la superficie corneal indicando su localización en milímetros con respecto al centro de la córnea y a lo largo de un determinado semimeridiano; Por ejemplo: a 3 mm del centro de la córnea, sobre el semimeridiano de 225° el poder corneal es de 41.00 dioptrías.

3.1.5 PARAMETROS DE LA CORNEA

La córnea tiene una enorme capacidad refractiva (poder corneal), que la constituye como el elemento refractivo principal del ojo. Para ello, aparte de la transparencia, debe mantener unas superficies refractivas curvas regulares y lisas.

La dioptría (D), es la unidad que expresa con valores positivos o negativos el poder de refracción de una lente y equivale al valor recíproco o inverso de su longitud focal

expresada en metros. El signo positivo corresponde a las lentes convergentes, y el negativo a las divergentes.

La anatomía de la córnea, al lado de sus propiedades ópticas, es la que determinará su poder dióptrico. La forma de la córnea es ovalada, con un diámetro horizontal medio de 12'6 mm y vertical de 11'7 mm. La periferia corneal es más plana y más gruesa que la zona central.

3.1.6 USOS DE LA TOPOGRAFIA CORNEAL

La córnea es la responsable de las dos terceras partes del poder dióptrico del globo ocular. Casi el 90% del poder dióptrico corneal se origina en la refracción de la superficie anterior de la córnea por lo tanto, su poder refractivo corresponde en gran parte a la forma de la superficie corneal, representada por la topografía.

La gran ventaja de la topografía corneal sobre otros métodos es su facilidad para detectar irregularidades corneales invisibles por medio de la mayoría de los exámenes convencionales.

Estos aparatos suponen un avance enorme para el diagnóstico precoz de alteraciones e irregularidades corneales así como para el estudio pre-cirugía y post-cirugía.

Los casos más habituales en lo que se recomienda el uso de la topografía corneal son:

- Diagnóstico y seguimiento de enfermedades corneales como el queratocono, la degeneración marginal pelúcida, astigmatismos irregulares, glaucoma, catarata, etc.
- Estudio pre y post cirugía láser de miopía, astigmatismo e hipermetropía.
- Trasplantes de córnea (tanto antes como después de la cirugía).
- Adaptaciones especiales de lentes de contacto.

Entendemos como ectasia corneal el grupo de deformaciones corneales; el queratocono y la degeneración marginal pelúcida.

El **queratocono** (literalmente significa una córnea en forma de cono) es una enfermedad progresiva en la cual la córnea se adelgaza y cambia de forma, creando una distorsión irregular debido a la alteración interna del tejido corneal.

Puede causar tumefacción y cicatrización de la córnea, así como pérdida de la visión.

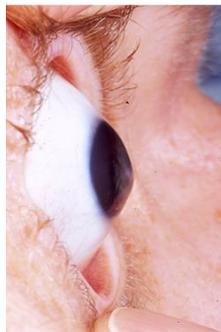


Figura 3.1.6.1: Córnea afectada por queratocono

La **degeneración marginal pelúcida** es una patología en la cual se adelgaza la periferia corneal. Esta enfermedad no produce disminución de agudeza visual de forma inmediata con lo que los pacientes que la presentan sienten una disminución de la misma cuando ya se encuentra en un estado avanzado.

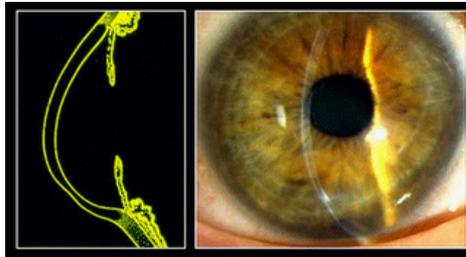


Figura 3.1.6.2: Córnea afectada por degeneración marginal pelúcida

El **glaucoma** es una enfermedad caracterizada por un daño progresivo e irreversible del nervio óptico, el encargado de llevar la información desde el ojo hasta el cerebro. Generalmente, este proceso ocurre porque el paciente tiene dificultades para que el humor acuoso (líquido transparente que baña las estructuras oculares y mantiene sus propiedades ópticas) salga del espacio que lo contiene. Como consecuencia, se produce un aumento de la presión intraocular que provoca una creciente pérdida de fibras nerviosas.

Esta pérdida puede darse de forma muy rápida o lenta según el tipo de glaucoma, y sin un tratamiento efectivo tiene como resultado final e inevitable la ceguera.

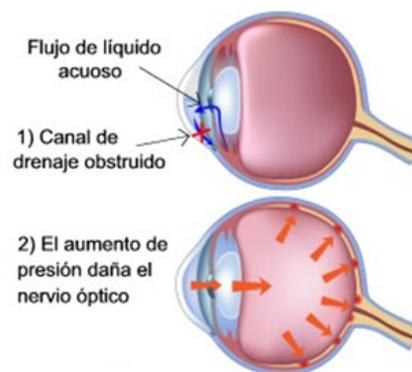


Figura 3.1.6.3: Desarrollo del glaucoma

La **catarata** es la pérdida de la transparencia del lente natural que se encuentra dentro del cristalino y la consiguiente disminución en la agudeza visual que no logra ser corregida con el uso de gafas.

3.1.7 MÉTODOS DE CAPTURA DE DATOS

DISCO DE PLACIDO

La oftalmometría solo es capaz de detectar las modificaciones de la curvatura, en un área central de la córnea relativamente pequeña. La exploración, que permite

examinar la totalidad de su superficie y evaluarla cualitativamente, se conoce como *queratoscopia*.

A partir del disco de plácido se generan valores de elevación mediante modelos matemáticos predeterminados de la superficie corneal.

El primer dispositivo clínico fue descrito, en 1880, por el oftalmólogo portugués **Antonio Plácido da Costa** (1848-1916) consistiendo en una placa circular sostenida por un mango, provista de una serie de anillos concéntricos y un agujero en su centro, a través del cual se puede ver la imagen catóptrica (imagen formada por reflexión) sobre la córnea de un individuo situado de espaldas a la luz. La anchura de los anillos da una estimación de la curvatura corneal, pudiendo reconocerse irregularidades de su superficie en relación con el centro óptico.

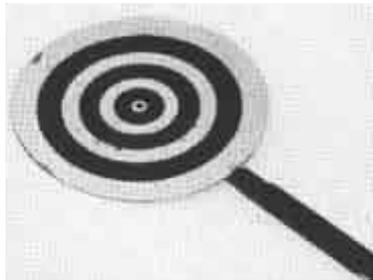


Figura 3.1.7.1: Primer dispositivo clínico

Un instrumento similar es descrito posteriormente por Louis Emile Javal empleando un disco con círculos concéntricos pegado a un espejo oftalmoscópico convexo. Posteriormente aplica un sistema análogo al oftalmómetro, sugiriendo emplear lentes auxiliares para magnificar la imagen queratoscópica.

En 1882, **Julien Masselon** y **Louis de Wecker** diseñan su primer queratoscopio, que permite una evaluación cualitativa y logra cuantificar el grado de astigmatismo en dioptrías y determinar la posición de los ejes.



Figura 3.1.7.2: Queratoscopio de Julien Masselon y Louis de Wecker

Poco a poco se van realizando mejoras en estos aparatos y en 1896, **A. Gullstrand** perfecciona notablemente la fotoqueratoscopia. Realiza por vez primera un análisis matemático del perfil corneal, desarrollando su sistema de fotogrametría para derivar datos cuantitativos a partir de meticulosas medidas de los anillos queraográficos. En

su aparato emplea círculos concéntricos pareados y aunque considera que, con el procedimiento se puede obtener una precisión en las medidas muy superior a otros dispositivos, comenta que las dificultades del cálculo lo hacen, sin embargo, poco adecuado para la práctica diaria.

Poco después **Wilhelm Uthoff** diseña un queratoscopio lineal con el que se pueden evaluar las irregularidades corneales, aunque sólo cualitativamente.

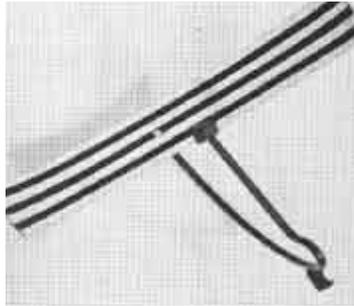


Figura 3.1.7.3: Queratoscopio lineal de Uthoff (1896).

En 1905, **Roth** construye un «astigmoscopio» que consiste en un disco de Plácido con un cable de acero en su parte posterior que al tirar permite doblarlo. En caso de astigmatismo el disco debe curvarse hasta que la imagen catóptrica aparezca como un círculo. Al disponer el cable de una escala graduada es posible determinar aproximadamente, en función de la deformación aplicada, la magnitud del astigmatismo.



Figura 3.1.7.4: Astigmoscopio de Roth.

En 1925, **Edgar Karl Fincham** realiza una verdadera medida específica, punto por punto, de la curvatura corneal empleando una técnica fotográfica con un dispositivo de autocolimación.

Debido a la falta de un método rápido para calcular las mediciones fotoqueratoscópicas, en las primeras dos décadas del siglo XX sólo se produjo un discreto progreso de los instrumentos.

El primer fotoqueratoscopio disponía de un disco con anillos concéntricos plano, lo que afectaba las mediciones periféricas, iluminado por cuatro lámparas situadas detrás del instrumento con la cámara en el centro.



Figura 3.1.7.5: Fotoqueratoscopio de Amsler y Hartinger

No tuvo gran éxito debido a su conformación elíptica; se producían menos defectos de curvatura de campo periférico que con el instrumento de Zeiss.

El siguiente paso en el desarrollo, ya en los umbrales de la tecnología actual, se orientó en reemplazar las cámaras fotográficas por sistemas de barrido computarizados obtenidos a través de una cámara de vídeo que permite la cuantificación en tiempo real de las imágenes queratográficas. Los sistemas informáticos incorporados simplifican la comparación de varios miles de puntos en la superficie corneal en muy corto tiempo, codificando la información por medio de un mapa de colores fácilmente interpretable. El primer *videoqueratoscopio* computarizado fue en *Corneal Modeling System*, diseñado en la Universidad de Indiana en 1980, al que han seguido otros modelos. La mayoría de ellos emplean el modelo de Plácido como objeto y un sistema de análisis de la imagen similar al establecido por Gullstrand.

En el período más reciente se produce la optimización clínica de los instrumentos incluyendo nuevos sistemas de medición que permiten la topografía de elevación cuyo aparato más representativo es el *Orbscan* de *Bausch & Lomb*. Se trata de un sistema de diagnóstico multidimensional integrado que aumenta las posibilidades diagnósticas por medio del análisis, en menos de 2 segundos, de 9000 puntos de la córnea, midiendo su curvatura, su grosor y el perfil de su superficie anterior y posterior.

Según cuál sea la deformación de la proyección de estos discos sobre el ojo se podrá determinar qué tipo problema presenta la córnea.

CÁMARA ROTACIONAL

Toma de las imágenes consecutivas a un objeto estático con una cámara que rota sobre un eje. De esta manera se obtienen imágenes desde todas las perspectivas y podemos conseguir un modelo tridimensional digitalizado.

Si además se precisa de información de puntos de control podremos escalar dicho modelo digitalizado.

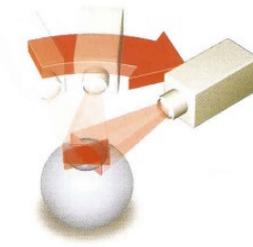


Figura 3.1.7.6: Proceso rotatorio de toma de imágenes

3.1.8 MODELO DE ELEVACIONES

Actualmente se ha generado un sistema que se basa en la creación de coordenadas X, Y, Z midiendo la elevación corneal de manera directa.

Existen dos formas de medida de elevación las cuales utilizan un sistema de triangulación directa para medir la curvatura corneal sin aproximaciones:

- **El sistema PAR**; Utiliza un sistema de rasterfotogrametría llamado rastereografía. Este fue el primer sistema en producir mapas de elevación y ha mostrado ser un método más efectivo para medir las irregularidades corneales que el sistema de anillos de Plácido.
- **Sistema Orbtex Orbscan** (Hendidura de barrido); Utiliza dos hendiduras mediante una estereotriangulación directa para medir la superficie corneal anterior. Este es el único sistema capaz de medir la superficie posterior por medio paquimetría óptica.

3.2 CUERPO HUMANO

3.2.1 MÉTODOS DE CAPTURA DE DATOS

Con la creciente prevalencia de la digitalización sin contacto en 3D de los últimos años, nos enfrentamos a dos tipos de escáneres y digitalizadores 3D con más frecuencia que los demás: la luz láser y la luz estructurada.

A continuación se realiza una breve descripción de cada tecnología:

En el caso de los aparatos que utilizan **luz estructurada**, el equipo proyecta una luz calibrada con unos patrones variables sobre el objeto y una o varias cámaras captan la deformación de esta luz, convirtiendo esta información en coordenadas XYZ en el espacio y generando una nube de puntos en 3D.

Por otra parte, con los de **luz láser** se lanza un haz láser. Esta señal está calibrada y cuando una o varias cámaras captan la deformación de este haz, la convierten en coordenadas XYZ en el espacio generando una nube de puntos en 3D.

El funcionamiento de los aparatos láser se basa en un mecanismo de barrido que captura el reflejo de las señales emitidas que chocan contra el objeto. Cuando esa señal se recibe dentro del dispositivo se almacena una información, consistente en

unas coordenadas de un punto 3D y una información radiométrica que afecta o bien al nivel de la intensidad de la escala de grises de la señal que se está recibiendo. Si se obtienen imágenes fotográficas del objeto a cada punto de la nube se le puede asignar su color que normalmente se expresa en niveles de RGB. De forma que el número de coordenadas que se almacenan en cada punto pueden ser cuatro, seis o siete, en este último caso dispondremos de color e intensidad.

Con esta información se obtiene una nube de puntos a partir de la cual se pueden generar modelos.

El número de cámaras en los diferentes aparatos aportará mayor o menor exactitud. La distancia entre el haz y la cámara y el ángulo que existe entre ellos es conocida, luego, el hecho de tener más de una cámara orientada de manera diferente permite capturar información desde distintos ángulos en una misma pasada.

Con lo que se realizan múltiples triangulaciones a un mismo punto, obteniendo tantos modelos a comparar como número de cámaras. A más modelos más exactitud.

Con todo ello, podemos dividir la toma de datos en dos grupos:

- **Digitalización tridimensional;** Técnicas de adquisición de medidas geométricas tridimensionales a partir de objetos físicos para la obtención de modelos digitales CAD.
- **Ingeniería inversa;** Proceso de reproducción de un objeto, pieza, parte o conjunto, a partir del modelo físico únicamente, sin la medición de documentación gráfica (planos) o digital (modelo informático).

3.2.2 CÁMARAS CCD

Las cámaras CCD son dispositivos electrónicos muy sensibles, ideados para captar la luz y formar una imagen a partir de ella. Las siglas *CCD* provienen del *inglés* "*Charge-Coupled Device*" que significan "*Dispositivo de Carga Acoplada*", es una superficie sólida sensible a la luz, dotada de unos circuitos que permiten leer y almacenar electrónicamente las imágenes que se proyectan sobre ella.



Figura 3.2.2.1: Ejemplo de cámara CCD

Estas cámaras registran exposiciones largas, durante las cuales la luz incide sobre una serie de píxeles dispuestos en forma de cuadrícula sobre el chip o sensor. Al final de la exposición, cada píxel lee el voltaje que corresponde a la cantidad de luz que ha

recibido. Estas cifras se digitalizan (en forma de números binarios) y se envían a la computadora donde se muestra la imagen en la pantalla.

La capacidad de resolución o detalle de la imagen depende del número de células fotoeléctricas del sensor. Este número se expresa en píxeles. A mayor número de píxeles, mayor resolución.

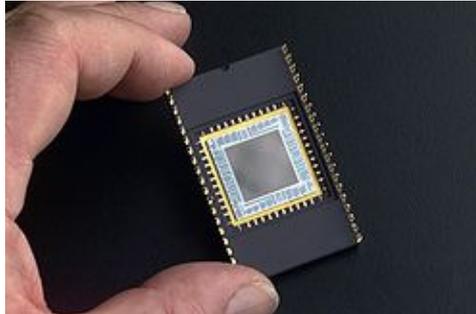


Figura 3.2.2.2: Sensor CCD

Mayoritariamente las cámaras CCD son en blanco y negro, acompañadas de filtros. Para producir imágenes en color hay que tomar 3 exposiciones, una a través de tres filtros RGB, que después se fusionan en el computador mediante un procesador de imágenes.

Las imágenes son sometidas a un proceso de corrección que consiste en restar de la imagen obtenida la señal producida espontáneamente por el chip por excitación térmica (*campo oscuro*) y dividir por una imagen de un campo homogéneo (*flatfield*) que permite corregir las diferencias de sensibilidad en diferentes regiones del CCD y corregir parcialmente defectos ópticos en la cámara o las lentes del instrumento utilizado.

3.2.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS APARATOS

Dentro de las muchas especificaciones de cada aparato, encontramos unas básicas para su comparación:

- Resolución
- Precisión
- Velocidad de toma de datos
- Campo de escaneado

Muchas veces se confunden los conceptos resolución y precisión.

Definiremos resolución como la cantidad de puntos y la distancia mínima entre ellos en cada una de las tomas y precisión como la distancia mínima entre los puntos de la malla conseguida. La calidad de la resolución y la precisión variará dependiendo del número de tomas que se realicen, a más tomas más resolución.

La velocidad en la toma de datos será un rasgo importante sólo para las cámaras volumétricas.

El campo de escaneado será el área de captura y marca la resolución.

BLOQUE 2

CAPÍTULO 1; TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS

1.1 APARATOS UTILIZADOS

En este apartado se explica más detalladamente el funcionamiento e instrumental de los dos ámbitos de la medicina en los cuales hemos podido tener acceso: oftalmología y cuerpo humano, junto con los aparatos empleados en cada uno.

1.1.1 OFTALMOLOGÍA

Como ya se ha comentado anteriormente, hemos realizado dos casos prácticos mediante dos tipos de topógrafos corneales: 1) PENTACAM y 2) ORBSCAN. A continuación se explica más detalladamente el funcionamiento de ambos:

1) El aparato **Pentacam** proporciona imágenes nítidas y brillantes que incluyen información del segmento anterior del ojo por una medida de cámara Scheimpflug rotacional. Esta cámara es una cámara digital CCD con muestreo de píxeles sincronizados.

La fuente de luz consiste en un led azul libre de UV con una longitud de onda de 475nm. Éste proceso rotatorio suministra fotos en tres dimensiones y también permite que el centro de la córnea sea medido de forma precisa.

El programa usa un algoritmo de trazado de rayos para construir y calcular el segmento anterior. Origina 50 secciones meridionales, a través del centro de la córnea, en 2 segundos sin contacto ocular desde la superficie anterior de la córnea hasta la superficie posterior del cristalino.

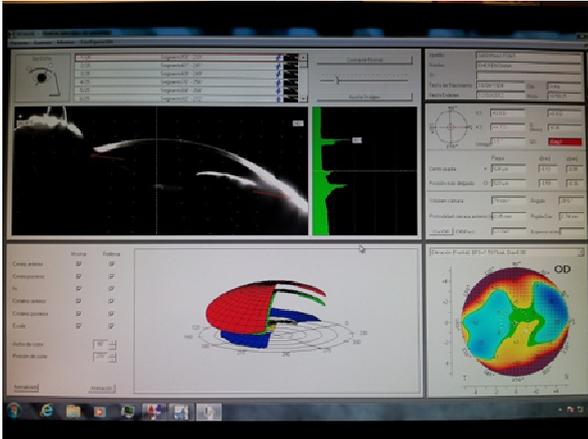
Este acercamiento permite que el sistema realinee el punto central más delgado de cada sección antes de reconstruir la imagen corneana, eliminando así cualquier movimiento ocular que ocurra durante el examen.

Es el único dispositivo Scheimpflug que rota alrededor de un eje común permitiendo al usuario alternar cada imagen individual para así poder ver si hay algún parpadeo o movimiento ocular que degrade la calidad de la imagen por ese meridiano.

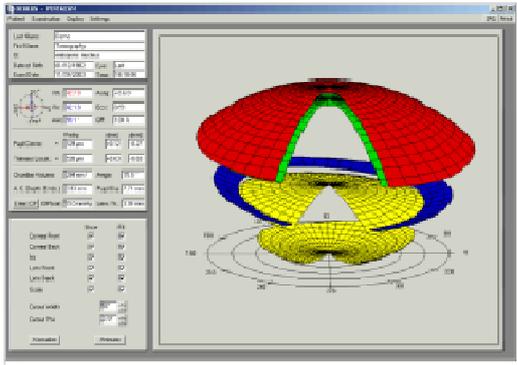
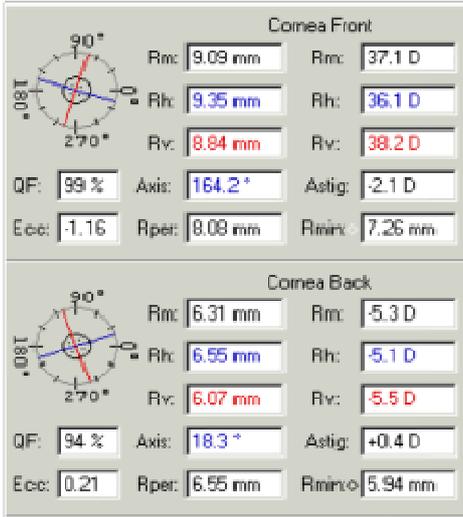
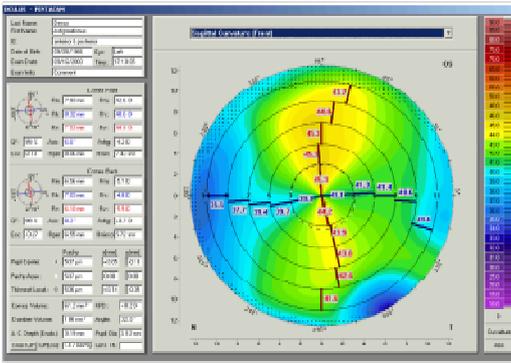
Extrae 500 puntos de elevación de cada una de estas imágenes, obteniendo 25.000 puntos verdaderos de elevación de cada superficie corneana incluyendo su centro.

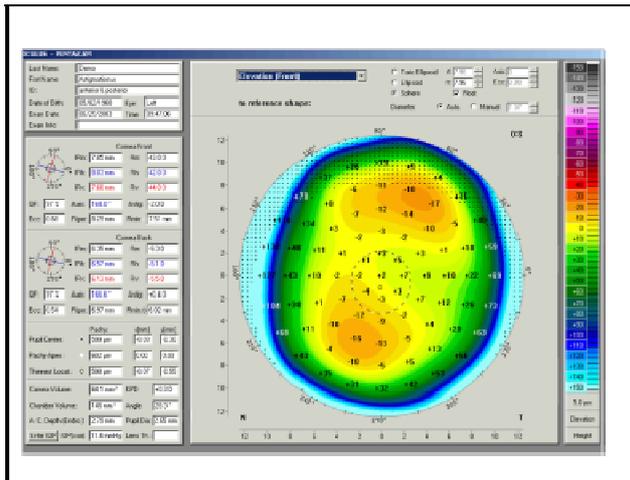
Al medir 25.000 puntos verdaderos de elevación, son garantizados la representación tridimensional precisa, repetitividad y análisis.

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas con el topógrafo corneal:

Aparato y procesador	
	<p>Dotado de una cámara rotatoria Scheimpflug.</p> <p>El procedimiento de examen rotatorio genera imágenes tridimensionales, en el que la rejilla de puntos se estrecha en el centro por la rotación. Cualquier movimiento del ojo será captado por una segunda cámara y corregirá el proceso de examen</p>
Vistas generales	
	<p>Compilación de representaciones de evaluación las cuales dan una vista rápida del segmento anterior del ojo medido.</p> <p>Esta vista contiene los siguientes campos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sección transversal del ojo y su correspondiente imagen Scheimpflug. - Ojo virtual; contiene la superficie anterior y posterior de la córnea, el iris y la superficie anterior y posterior de la lente. - Valores del queratómetro; Las dos superficies de la córnea son analizadas y descritas. - Análisis del grosor de la córnea y la cámara anterior. - Mapa de color y la barra de color que describe qué color es usado para cada grosor de la córnea en μm. <p>Si emplea un mapa topográfico, describe que radio de curvatura o equivalente de curvatura en dioptrías corresponde con la barra, similar con el mapa de elevación.</p>

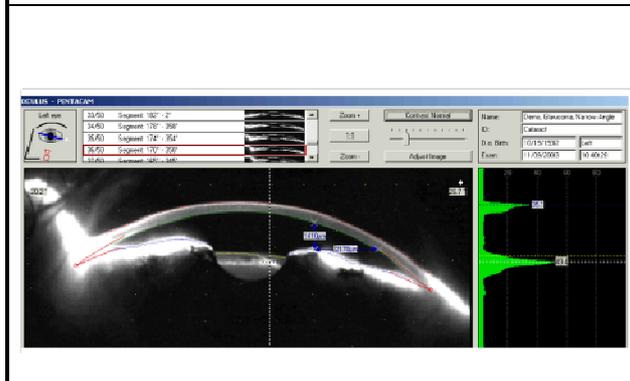
Además existe la posibilidad de ver estas vistas generales de manera individual:

	<p><u>Ojo virtual</u></p>																																																																								
 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Cornea Front</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rmc:</td> <td>9.09 mm</td> <td>Rmc:</td> <td>37.1 D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rh:</td> <td>9.35 mm</td> <td>Rh:</td> <td>36.1 D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rv:</td> <td>8.84 mm</td> <td>Rv:</td> <td>38.2 D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QF:</td> <td>99%</td> <td>Axis:</td> <td>164.2°</td> <td>Astig:</td> <td>-2.1 D</td> </tr> <tr> <td>Ecc:</td> <td>-1.16</td> <td>Rper:</td> <td>8.08 mm</td> <td>Rmin:</td> <td>7.26 mm</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Cornea Back</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rmc:</td> <td>6.31 mm</td> <td>Rmc:</td> <td>-5.3 D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rh:</td> <td>6.55 mm</td> <td>Rh:</td> <td>-5.1 D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rv:</td> <td>6.07 mm</td> <td>Rv:</td> <td>-5.5 D</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QF:</td> <td>94%</td> <td>Axis:</td> <td>18.3°</td> <td>Astig:</td> <td>+0.4 D</td> </tr> <tr> <td>Ecc:</td> <td>0.21</td> <td>Rper:</td> <td>6.55 mm</td> <td>Rmin:</td> <td>5.94 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Cornea Front						Rmc:	9.09 mm	Rmc:	37.1 D			Rh:	9.35 mm	Rh:	36.1 D			Rv:	8.84 mm	Rv:	38.2 D			QF:	99%	Axis:	164.2°	Astig:	-2.1 D	Ecc:	-1.16	Rper:	8.08 mm	Rmin:	7.26 mm	Cornea Back						Rmc:	6.31 mm	Rmc:	-5.3 D			Rh:	6.55 mm	Rh:	-5.1 D			Rv:	6.07 mm	Rv:	-5.5 D			QF:	94%	Axis:	18.3°	Astig:	+0.4 D	Ecc:	0.21	Rper:	6.55 mm	Rmin:	5.94 mm	<p><u>Valores de queratometría</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Rm</i>: Radio medio central. - <i>Rh</i>: Radio central de la curvatura horizontal en el centro de la córnea. - <i>Rv</i>: Radio central de la curvatura vertical en el centro de la córnea. - <i>Axis</i>: Eje del astigmatismo de la córnea. - <i>Astig</i>: Astigmatismo de la cornea central. - <i>Rper</i>: Radio medio de la zona entre el anillo de 7 mm y el de 9mm. - <i>Rmin</i>: Radio mínimo de la córnea. - <i>Ecc</i>: Excentricidad media de la cornea en 30°. - <i>QF</i>: Índice de calidad.
Cornea Front																																																																									
Rmc:	9.09 mm	Rmc:	37.1 D																																																																						
Rh:	9.35 mm	Rh:	36.1 D																																																																						
Rv:	8.84 mm	Rv:	38.2 D																																																																						
QF:	99%	Axis:	164.2°	Astig:	-2.1 D																																																																				
Ecc:	-1.16	Rper:	8.08 mm	Rmin:	7.26 mm																																																																				
Cornea Back																																																																									
Rmc:	6.31 mm	Rmc:	-5.3 D																																																																						
Rh:	6.55 mm	Rh:	-5.1 D																																																																						
Rv:	6.07 mm	Rv:	-5.5 D																																																																						
QF:	94%	Axis:	18.3°	Astig:	+0.4 D																																																																				
Ecc:	0.21	Rper:	6.55 mm	Rmin:	5.94 mm																																																																				
	<p><u>Topografías de las superficies anterior y posterior</u></p> <p>Representa gráficamente la variación de las curvaturas de la córnea.</p>																																																																								



Mapas de elevación anterior y posterior

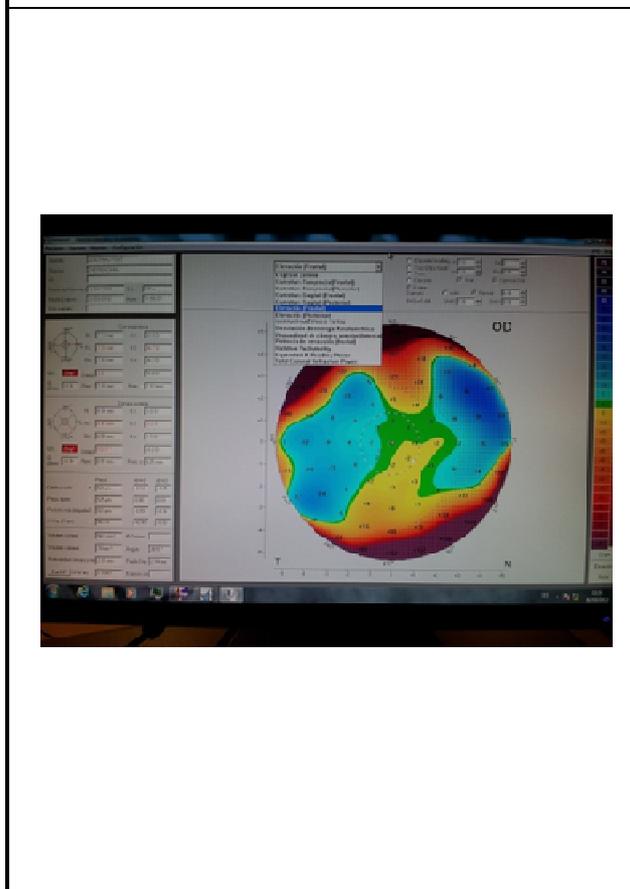
Muestran una información más precisa de la forma real de la superficie corneal porque son independientes de la orientación y posición del eje óptico.



Imágenes Scheimpflug

Representa la distorsión óptica de la córnea y del humor acuoso, además muestra una rejilla milimétrica para definir los puntos de referencia y una mejor orientación.

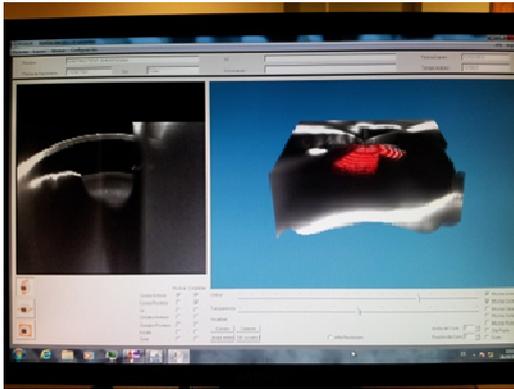
Paquimetría



La variación del grosor de la córnea se muestra en color sobre la superficie entera de limbo a limbo.

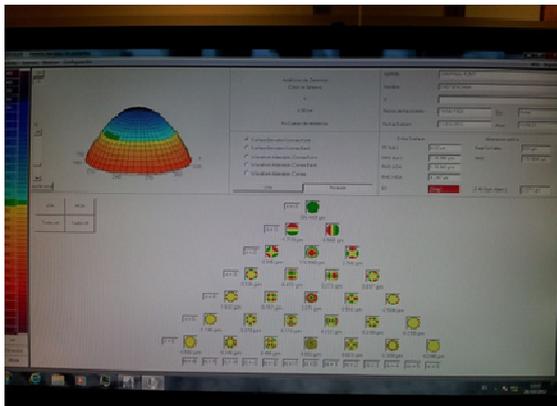
Si se selecciona un punto obtenemos el grosor y las coordenadas de su posición. El borde de la pupila es mostrada como una línea blanca y negra. La cruz blanca marca el centro de la pupila y el punto blanco marca el ápex de la córnea. La barra de color muestra el grosor de la escala de color.

Tomografía

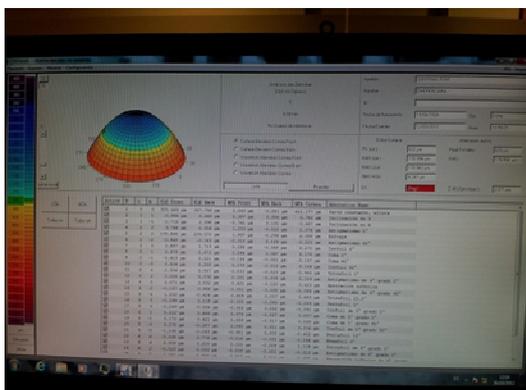


Genera un modelo virtual del segmento anterior del ojo y de los defectos de la córnea.

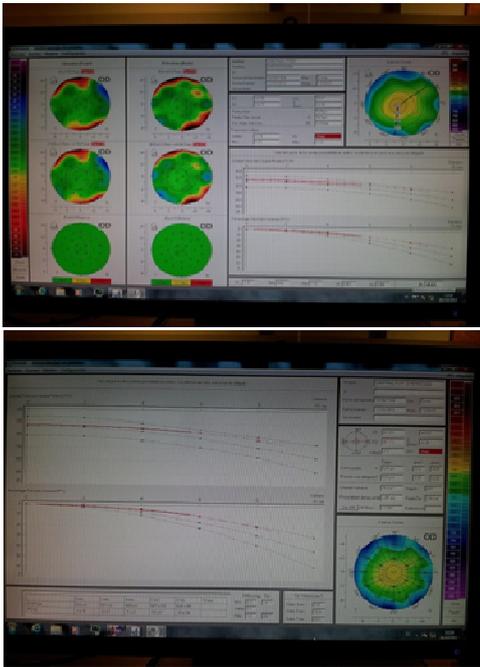
Análisis Zernike



Cada polinomio recibe el nombre del defecto que representa (astigmatismo, coma aberración esférica, etc.). Estos polinomios también se conocen como polinomios circulares porque hacen referencia a un círculo de radio 1 y se expresan en coordenadas polares. Desde un punto de vista matemático cada polinomio de Zernike se caracteriza por una serie de valores en la variable radial, n , y una serie de Fourier en la variable angular, m . En su forma general, $Z_{n,\pm m}$, n representa el grado del polinomio de la variable radial, mientras m expresa la frecuencia del ángulo θ cada 360° . Polinomios con un número par de n y $m=0$ son siempre rotacionalmente simétricos, mientras todos los demás dependen del ángulo.

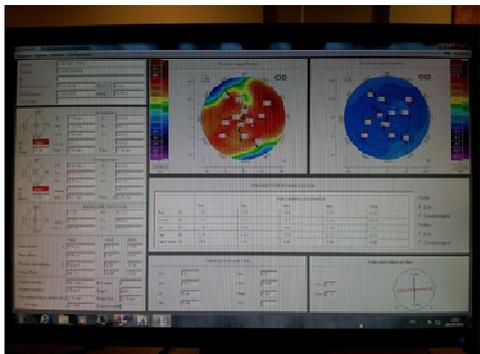


Queratocono

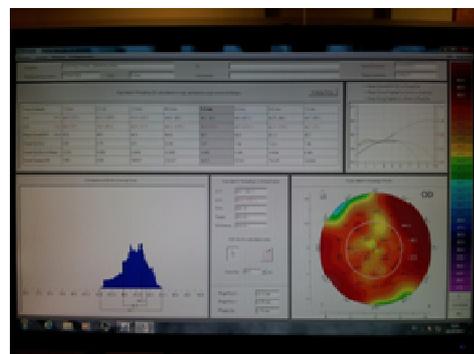


Analiza el curso del grosor actual de la córnea y lo compara con los datos de una base de datos normalizada de ojos no tratados. El grosor es analizado en anillos concéntricos de 1mm, 2mm, 3mm, 4mm y 5mm con la zona más fina como centro como se muestra en el mapa.

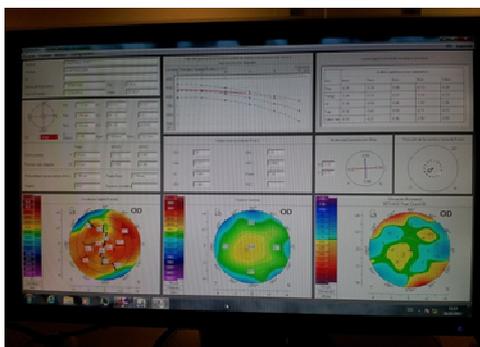
Mapas de color



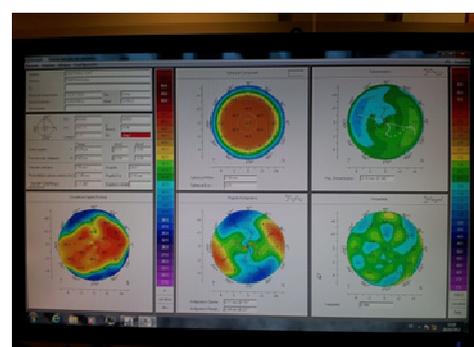
Topométrico



Holladay EKR detail report



Refractivo



Fourier

2) El aparato **Orbscan**, obtiene el modelo de la superficie corneal, mediante una fuente luminosa asociada a un disco de Plácido y dos haces de luz proyectados por una lámpara de hendidura, en base al estudio de la luz reflejada que ha sido previamente proyectada en la cara anterior de la córnea.

El disco de Plácido está basado en la extensión de mira única usada por el queratómetro (permite medir los radios de la curvatura de la porción central de la córnea). Los datos de la curvatura se derivan de las distintas medidas entre los anillos (dependen del tamaño del cono).

Mide la desviación de los anillos reflejados y calcula la curvatura de los puntos de la superficie corneal en dirección axial. También mide los radios de curvatura generando un mapa a partir de la posición de éstos radios en el plano, no en el espacio. Por eso es un mapa en dos dimensiones.

Este topógrafo de elevación además de proyectar anillos, toma 40 imágenes (20 haces proyectados hacia la izquierda y otros 20 hacia la derecha), con una distancia entre cortes de 250μ , analizando unos 9000 puntos en apenas 1,5 segundos.

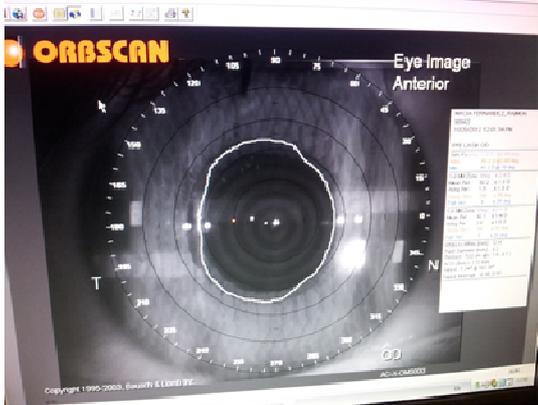
Toma cortes de imagen vertical que son separados el uno del otro y no tienen punto común; con lo que no puede re-registrar ningún movimiento ocular que ocurra mientras está capturando imágenes.

Con ello nos da información de la cara anterior y posterior de la córnea y de la relación que existe entre ellas; y además de la cara anterior del iris y del cristalino.

Los fundamentos de medida son: emplea reflexión difusa, detecta el centro corneal, utiliza los haces y la dispersión para triangular la forma de la superficie y produce la reflexión de la dispersión posterior.

A esa superficie derivada matemáticamente se le aplica un trazado de rayos con un modelo básico de queratómetro para producir los valores simulados, por lo que debido a esta complejidad la repetitividad no es alta.

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas con el topógrafo corneal:

Aparato y procesador	
	<p>Sistema topográfico de barrido y hendidura mediante disco de plácido.</p>
Imagen del ojo	
	<p>Permite medir distancias tales como diámetro corneal, radio, distancia blanco a blanco, etc.</p>

Mapas topográficos de curvatura o potencia



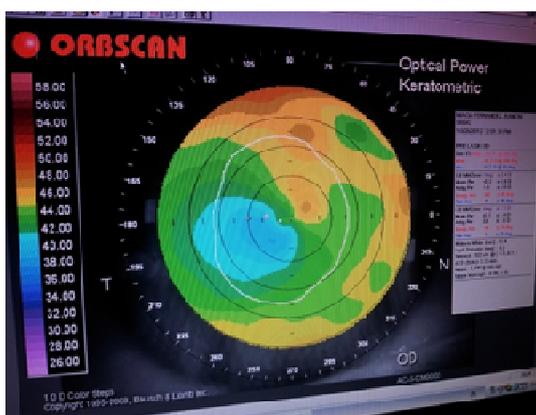
Mapa tangencial

Mide la curvatura en un cierto punto de la superficie corneal en una dirección tangencial a los otros puntos en el mismo anillo. Es un buen mapa para medir distancias corneales y detectar irregularidades locales.



Mapa axial

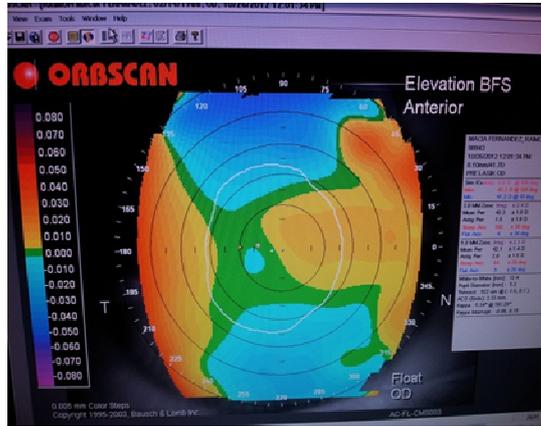
Mide la curvatura en un cierto punto de la superficie corneal en una dirección axial en relación al centro. Es útil para determinar las características generales de la córnea.



Mapa refractivo

Se trata de un mapa de potencias corneales calculadas según la Ley de Snell, asumiendo que el ojo tiene un índice de refracción de 1,3375; para calcular el poder de refracción de la córnea. Se usa antes y después de la cirugía corneal.

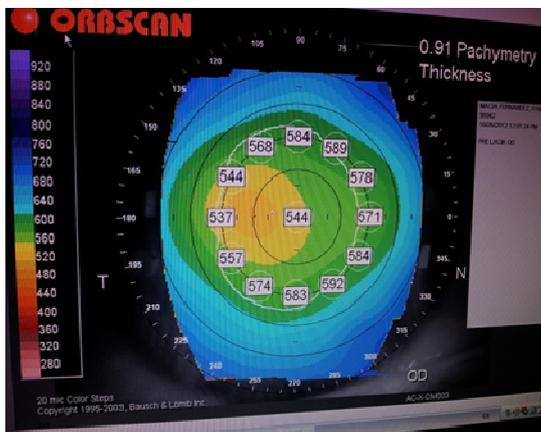
Mapas de elevación (BFS - Best First Sphere)



Estos mapas no se miden directamente a través de la imagen dada por la proyección de los anillos de plácido. La elevación viene dada por la altura de un punto de la superficie corneal con respecto a la superficie de una esfera de referencia. Esta esfera de referencia es dada por la superficie esférica que mejor se adapta a la superficie corneal. Se pueden realizar mapas BFS tanto de la cara anterior como de la cara posterior.

Para representar esta elevación se recurre a mapas de colores donde los colores cálidos (espectro del rojo al blanco) representan elevaciones por encima de la esfera y los colores fríos (del azul al morado) indican depresiones por debajo de la misma. Se consideran normales valores de elevación próximos a 10 μm en los mapas de elevación anterior y alrededor de 20 μm para los mapas de elevación posterior.

Mapas paquimétricos

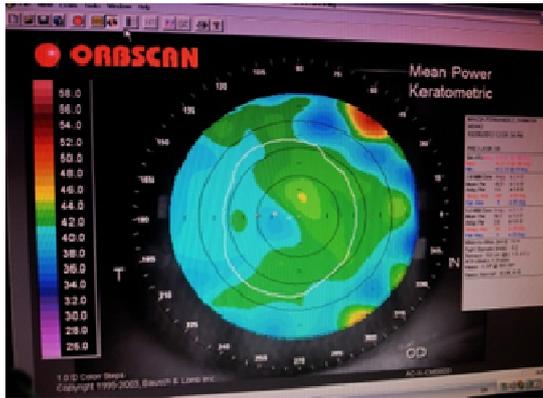


Debido a la característica que tiene el Orbiscan de medir la cara anterior y posterior de la córnea, nos permite dar información de la distancia que existe entre ambas y, por tanto, de la paquimetría corneal en todos los puntos de la córnea medida, tanto centrales como periféricos.

En este caso la paquimetría central es de 544 μm y los pasos de la escala de colores son de 40 μm .

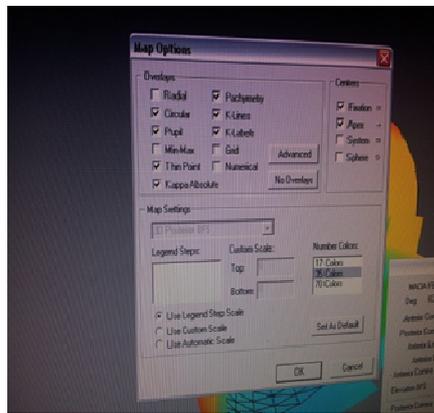
Aunque existen córneas con paquimetrías inferiores a 500 μm sin otras alteraciones, cuando los valores son inferiores a 470 μm se considera francamente anómalo y nunca debe someterse ese paciente a cirugía refractiva corneal con láser.

Mapas de valor medio o curvatura media



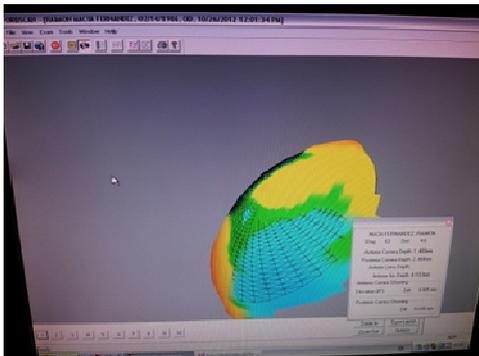
Estos mapas expresan el valor medio aritmético de las dos curvaturas principales en cada punto: máximo y mínimo.

Opciones de los mapas

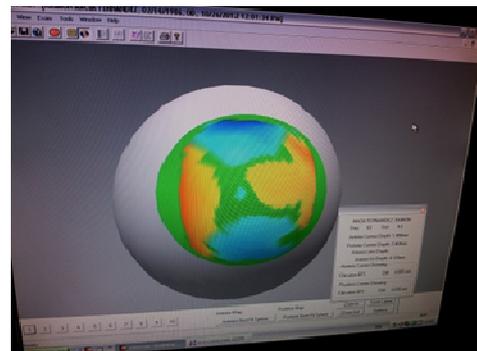


Vistas 3D

Se utilizan para visualizar la forma general de la córnea de un modo más realista. Se pueden rotar y modificar en la forma deseada.



Anterior BFS



Ojo

Factores que intervienen sobre el mapa topográfico

Hay que saber distinguir entre los cambios topográficos reales de la córnea misma o los producidos por factores externos. Ante la presencia de anomalías en la integridad de la córnea o en su transparencia la topografía pierde fiabilidad, con lo que se debe volver a repetir el proceso para descartar la influencia de los factores externos en el momento de la toma de la misma.

- *La película lagrimal*: Las imágenes del queratoscopio se forman a través del reflejo que ocurre en la capa de la película lagrimal. La película lagrimal puede no causar problemas si es uniforme sobre la totalidad de la superficie corneal, pero puede causar problemas si el paciente experimenta lagrimeo, lo suficientemente excesivo, como para formar lagos lagrimales, esto distorsiona los anillos del queratoscopio y produce errores de digitalización.

- *Los párpados*: Los párpados y las pestañas también son responsables de ciertas anomalías topográficas, sobre todo en la parte superior. El párpado tenso puede provocar un aplastamiento corneal en su borde que hará que la zona continua de la córnea se abombe dando valores de curvatura más cerrados.

- *El enfoque y alineamiento*: La imagen depende del operador y la colaboración del paciente, y para capturar una imagen topográfica buena hace falta que esté la córnea en el centro del cono y el paciente tiene que mantener el enfoque sobre el objeto en el centro del disco de plácido.

Cuanto más preciso es el "topógrafo", mayor es el error por un mal alineamiento. Un topógrafo de poca precisión mide puntos más alejados entre sí, con lo que la lectura es más grosera y el alineamiento menos crítico.

• COMPARATIVA

En la *tabla 1.1.1.1* podemos ver que la diferencia principal entre ambos es la forma en la cual toman los cortes de imagen de la córnea.

El Orbscan toma cortes de imagen vertical que son separados el uno del otro y no tienen punto común; con lo que no puede re-registrar ningún movimiento ocular que ocurra mientras está capturando imágenes.

En cambio, el Pentacam mantiene el punto central de cada meridiano. Así, durante el examen, el programa puede re-registrar éstos puntos centrales y eliminar el movimiento ocular. Ésta medida única hace las medidas del topógrafo Pentacam 10 veces más precisas.

Además el Pentacam permite explorar mediante la cámara Scheimpflug, tanto la cara anterior como la posterior de la córnea, así como el resto del polo anterior, de forma fácil y rápida. Mientras que el aparato Orbscan ofrece información adicional acerca del segmento anterior del ojo, tal como la curvatura anterior y posterior de la córnea, los mapas de elevación de la superficie anterior y posterior de la córnea y el grosor de ésta.

Cabe destacar la reciente utilización del Orbscan en estética, estudiando la relación del futuro envejecimiento de la piel con las variaciones de la curvatura de la cornea.

A pesar de estas pequeñas diferencias, estos dos aparatos, son actualmente los dos mejores equipos para la realización de topografías corneales.

Nombre	Método de toma de datos	Aplicación en medicina
PENTACAM	<ul style="list-style-type: none"> * Toma de datos mediante cámara rotatoria Scheimpflug * La cámara rota alrededor de un eje común * 25000 punto de elevación incluyendo su centro 	<ul style="list-style-type: none"> * Oftalmología
ORBSCAN	<ul style="list-style-type: none"> * Toma de datos mediante disco de plácido * Cortes de imagen vertical separados sin punto común *9000 puntos de elevación 	<ul style="list-style-type: none"> * Oftalmología * Estética

Tabla 1.1.1.1: Comparativa Pentacam - Orbscan

1.1.2 CUERPO HUMANO

Los dos casos prácticos de modelado de partes del cuerpo humano han sido realizados mediante los aparatos: 1) GO!SCAN3D y 2) EXASCAN3D:

1) El aparato **Go!SCAN3D**, es un escáner 3D de luz blanca, portátil y de mano, que proporciona mediciones rápidas y confiables.



Figura 1.1.2.1: Aparato Go!SCAN3D

Utiliza tecnología LED que permite evitar los pasos de preparación y configuraciones específicas. Además proporciona una amplia área de digitalización y una muy alta velocidad de medición, con la ventaja adicional de que no exige un procesamiento posterior manual de los datos.

El escáner proyecta un patrón codificado de luz desde una fuente de luz blanca (LED). Este patrón representa la forma del objeto escaneado debido a las deformaciones de éste. El software crea una geometría en tres dimensiones del objeto a partir de cada cuadro de cámara. Las diferentes formas 3D capturadas en cada cuadro se alinean según su geometría y se optimizan para proporcionar la visualización en pantalla.

Realiza un posicionamiento automático con lo que no es necesario utilizar una máquina de medición de coordenadas (CMM), un brazo de medición ni ningún otro dispositivo de posicionamiento externo.

Existe la posibilidad de mover el objeto durante la digitalización, por lo que no es necesaria una configuración rígida. Asimismo no es necesario utilizar ningún dispositivo de posicionamiento externo.

Opcionalmente se pueden fijar objetivos de posicionamiento o geometrías específicas para reanudar de manera instantánea el proceso de escaneado tras una pausa o bien cuando el área a escanear es muy amplia.

Proporciona una resolución de 0,5mm y una precisión de hasta 0,1mm con lo que ofrece resultados de digitalización fiables.

Mediante el software de adquisición de datos 3D VXelements, y el módulo VXscan⁸ que se dedica a la adquisición y optimización de los datos de escaneado podemos:

- Optimizar superficies mediante un algoritmo que evita la creación de varias capas de digitalización y garantiza una retícula más precisa sin necesidad de un tratamiento posterior.
- Posibilidad de cambiar en cualquier momento la resolución, antes o después de la digitalización.
- Recrear una retícula a partir de los datos sin procesar previamente adquiridos.
- Representar superficies en tiempo real.
- Otras funciones como el rellenado de huecos, la eliminación inteligente (sin pérdida de definición en la retícula) o los filtros de contorno.

Dado que cada cuerpo humano es único, el escaneado 3D corporal es útil en todos los casos en los que se requieren aplicaciones personalizadas. Gracias a su portabilidad, facilidad de uso y visualización en tiempo real de los resultados durante la adquisición; se pueden reducir los tiempos de respuesta sustituyendo o anulando pasos de los métodos tradicionales, a la vez que el proceso se desarrolla perfectamente, de forma no invasiva y sin estrés para el paciente.

A continuación se proporciona una lista breve de las aplicaciones del sector sanitario en las que se puede utilizar el escáner Go!SCAN 3D:

- Diseño y fabricación de diversos aparatos ortopédicos y prótesis sin necesidad de utilizar moldes de yeso.
- Tratamiento de la plagiocefalia (aplanamiento de la cabeza en niños) mediante la creación de cascos a medida.
- Ortopedia y diseño de zapatos a medida.
- Supervisión de la cicatrización de heridas y quemaduras de gran tamaño.
- Escaneado corporal para cirugía plástica.

2) El aparato **ExaSCAN3D**, es un escáner láser 3D de la línea de digitalizadores Handyscan 3D de *Creaform*. Éste es portátil y de mano, y proporciona mediciones rápidas y precisas.

⁸ Consultar video de toma de datos: anexos/videos Handy-go/1.2.1 Go!Scan3D



Figura 1.1.2.2: Aparato ExaSCAN3D

En pocos minutos se puede capturar la imagen del objeto que se desea, desde cualquier ángulo y en cualquier ubicación, visualizando en tiempo real la superficie escaneada.

El sistema utiliza reflectores ópticos para crear un sistema de referencia "fijado" al objeto escaneado. El usuario puede mover el objeto como desee durante la sesión de digitalización. Los cambios del entorno no afectan en absoluto la calidad y precisión de la adquisición de datos.

Ofrece un sistema de adquisición de datos que, al mismo tiempo, incorpora su propio sistema de posicionamiento. Esto significa que no es necesario ningún dispositivo de seguimiento o posicionamiento externo. Utiliza la triangulación⁹ para determinar en tiempo real su posición relativa en función del objeto.

Permite dos modos de digitalización ya que dispone de un botón montado en la parte superior que ofrece al operador alternar entre modo de resolución normal y alta. La resolución normal es útil para objetos grandes y digitalización rápida, mientras que la alta resolución es preferible para superficies complejas y difíciles de digitalizar.

Proporciona una resolución de 0,05 mm mediante una velocidad de medición de 25000 medidas por segundo. Además cuenta con una precisión de hasta 0,04 mm con lo que podemos afirmar que precisa de una alta resolución y exactitud¹⁰.

También utiliza VXelements, el software integral de adquisición de datos en 3D que permite el funcionamiento de todas las tecnologías de medición y digitalización 3D. Así como el módulo de software VXscan.

⁹ Determinar triángulos consecutivos, a partir de dos puntos conocidos que sean visibles el uno desde el otro. La línea recta que une estos dos puntos, se llama línea de base. Para determinar la posición de un punto nuevo por triangulación, ese punto nuevo se une a la línea de base conocida mediante dos nuevas líneas, formando un triángulo.

¹⁰ Consultar vídeo de toma de datos: anexos/videos Handy-go/1.2.2 Handyscan, anexos/videos Handy-go/1.2.3 Handyscan

Las aplicaciones médicas más destacadas en las que se puede utilizar este aparato son:

- Diseño y fabricación de aparatos ortopédicos y prótesis
- Tratamiento de la plagiocefalia
- Control de la curación de lesiones
- Prótesis estéticas

• COMPARATIVA

Como podemos observar en las *tablas 1.1.2.1* y *1.1.2.2* existen varias diferencias básicas en el método de captura de datos y en sus aplicaciones.

La primera diferencia que nos encontramos es la forma de captura, por un lado obtenemos la información a través de luz blanca pulsada y por el otro a través de luz láser.

Go!SCAN trabaja sobre la interpretación de la deformación de la malla para representar el objeto y por el contrario, ExaSCAN utiliza la triangulación.

Una de las virtudes de la luz estructurada es la amplia área de digitalización, lo que permite escanear objetos más grandes. Así pues, es posible escanear todo el cuerpo del paciente para posteriormente centrarse en una parte específica. Además de obtener el modelo de forma más rápida debido a la velocidad en la toma de datos que ofrece la luz estructurada.

Centrándonos en el ámbito de la medicina, el hecho de utilizar luz estructurada hace que los aparatos con este tipo de toma de datos sean los más utilizados ya que ofrecen una alta seguridad visual para el paciente. En comparación, los aparatos de luz láser pueden producir un cierto riesgo para la retina.

Siguiendo con las aplicaciones médicas, podemos concluir que Go!SCAN es el más utilizado ya que además de emplearlo para temas protésicos se utiliza para la comparativa de pre y post tratamientos médicos y estéticos.

Nombre	Método de toma de datos	Aplicación en medicina
GO!SCAN3D	<ul style="list-style-type: none"> * Toma de datos mediante luz blanca pulsada * Doble cámara con maya calibrada * Toma los datos a partir de las variaciones del patrón de la maya sobre el objeto. * Se pueden fijar objetos de posicionamiento o geometrías específicas para reanudar de manera instantánea el proceso de escaneado tras una pausa 	<ul style="list-style-type: none"> * Escaneado corporal para cirugía plástica * Tratamiento de la plagiocefalia * Ortopedia * Supervisión de la cicatrización de heridas y quemaduras
EXASCAN3D	<ul style="list-style-type: none"> * Toma de datos mediante laser * Doble cámara con haz calibrado * Muestra la imagen al mismo tiempo que el haz por el objeto. * Utiliza la triangulación para determinar en tiempo real su posición relativa en función del objeto 	<ul style="list-style-type: none"> * Representación del cuerpo humano * Ortopedia * Defectos columna

Tabla 1.1.2.1: Comparativa Go!SCAN – ExaSCAN

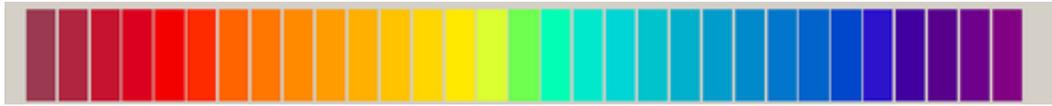
	GO!SCAN3D	EXASCAN3D
Peso	1,1 kg	1,25 kg
Dimensiones	127 * 156 * 262 mm	172 * 260 * 216 mm
Velocidad de medición	550 000 medidas/s	25 000 medidas/s
Distancia de seguridad	400 mm	300 mm
Profundidad de campo	250 mm	± 150 mm
Área de escaneado	380 * 380 mm	210 * 210 mm 60 * 60 mm (alta res.)
Rango de tamaño piezas	0,3 m - 3,0 m	0,3 m - 5,0 m
Color	No	No

Tabla 1.1.2.2: Comparativa técnica Go!SCAN – ExaSCAN

1.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

1.2.1 INTERPRETACIÓN DE MAPAS DE COLORES EN TOPÓGRAFOS CORNEALES

Ambos aparatos digitalizan las imágenes obtenidas por el ordenador donde el resultado final es un mapa en código de colores.



- Los violetas y azules (colores fríos), representan radios grandes que corresponden a curvas planas o potencias bajas.
- Los verdes y amarillos son colores aplicados a córneas normales y representan radios medios o curvas medias.
- Los naranjas y rojos (colores cálidos), representan radios cortos que corresponden a curvas cerradas.

La representación gráfica de los poderes corneales puede ser expresada en un gráfico a **escala normalizada** es decir, que toma los poderes máximo y mínimo de esa córnea individual y los distribuye en una escala de 11 colores diferentes, tomando el valor medio como el centro de esa escala. Tiene un rango de variación de poderes entre color y color de 0,25 D.

La otra forma de expresar la representación es una **escala fija** que tiene el programa que varía entre 9 dioptrías y 101 dioptrías. En los valores extremos hay diferencias entre los colores de 5 D. Y en el centro de la escala, la diferencia en dioptrías es de 1,5. Es útil para comparar con topografías anteriores o para ver los efectos de una cirugía determinada.

En las escalas se figura el tipo de las medidas transformadas: La altura en *mm* o *m*, la curvatura en *mm*, el poder en dioptrías *D*, y los colores.

1.2.2 DEFORMACIONES DEL DISCO DE PLÁCIDO

Inicialmente el disco de plácido son una serie de círculos concéntricos que al proyectarse sobre la cornea adopta distintas formas y distribuciones según el problema que presente ésta.

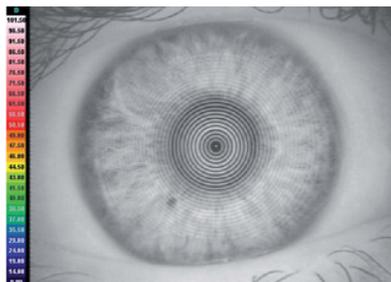


Figura 1.2.1.1 Proyección del disco de placido sobre el ojo

- Según su **forma**:

Una distribución relativamente simétrica, con anillos circulares, nos puede indicar que estamos frente a una córnea con tendencia hacia la esfericidad. Normalmente todas las córneas son esféricas teniendo mayor poder en el centro, el cual decrece hacia la periferia, en una proporción que varía de acuerdo a cada individuo.

Cuando los anillos son ovales, se debe pensar que se está frente a un astigmatismo. El meridiano mayor del ovalo también es posible identificarlo.

- Según su **distancia**:

Cuando los anillos se ven muy próximos unos a otros, se debe pensar que hay altos poderes corneales. A mayor separación, hay menores poderes.

La irregularidad de la distribución de los anillos, tal como sectores que tienen anillos más próximos entre sí y otros más apartados, puede indicar que existe un astigmatismo irregular. Por lo general, en las ectasias se puede observar proximidad en los cuadrantes inferiores y dentro de estos, en los temporales.

En las córneas con características normales, en la periferia nasal los anillos están más separados que en el resto de la córnea, indicando que la córnea siempre es más plana en ese sector.

- Según el **tamaño**:

Los anillos pequeños representan altos poderes corneales.

También se debe analizar la amplitud de la reflexión del anillo queratoscópico. Cuando la línea se presenta más gruesa que en otros sectores, indica que ese sitio es el de menor poder.

-Según la **magnitud del poder**:

Una cornea puede presentar en la mayor parte de sus superficie altos poderes o puede tener la tendencia a ser mas plana.

Los defectos refractivos esféricos, se caracterizan por aéreas de poder amplias, de valor refractivo uniforme y similar, aun cuando puedan existir pequeñas zonas que salgan del promedio.

Defectos refractivos astigmáticos, se caracterizan por ausencia de uniformidad en la distribución de poder corneal, que generalmente se expresa con simetría de poder entre los dos hemisferios corneales, pero con diferencias entre el centro y la media periférica.

1.2.3 TRIANGULACIÓN ÓPTICA

Un láser escáner está compuesto por un sistema que genera un haz láser (luz monocromática, coherente, intensa y sin dispersión) y un sistema de barrido, de modo que efectuando una serie de perfiles se consigue cubrir toda la superficie a levantar, en forma de rejilla de paso impuesto por el operador.

La mayoría de equipos trabajan midiendo la distancia inclinada del sensor a cada punto de la superficie cuyos giros determinan el ángulo horizontal y vertical del punto medido respecto un sistema de coordenadas propio del equipo.

La triangulación óptica es un proceso que permite reconstruir un objeto o escena a partir de cada imagen, y que requiere una alta sensibilidad, precisión y análisis en tiempo real.

Este sistema de medida se basa en el cálculo de coordenadas espaciales a partir de intersección directa (intersección de rectas); similar al caso estereofotogramétrico, con la diferencia de que en un extremo del sistema se sitúa el diodo emisor (láser escáner) y en otro extremo se sitúa el diodo receptor (cámara de video CCD). La rapidez de barrido depende del sensor CCD utilizado: lineal o superficial, pudiendo llegar a valores de pocos segundos en el barrido y captura de información, y consiguiendo resoluciones espaciales de 340 000 píxeles.

Se utilizan sensores para trabajos a corta distancia, desde unos pocos centímetros a 1 ó 2m. Los componentes básicos de estos sensores son el sistema generador de haz láser, el sistema de barrido y las cámaras digitales.

Según el método de captura que utilice el aparato podemos diferenciar dos tipos: triangulación láser y triangulación mediante luz estructurada:

- En el método de **triangulación óptica láser** resulta de un haz de luz láser que incide en el objeto a estudiar de forma oblicua; y una cámara que registra la ubicación del punto láser sobre la superficie del objeto, en la dirección normal. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee la superficie, el punto del láser aparece con un cierto ángulo de inclinación en el sensor de la cámara.

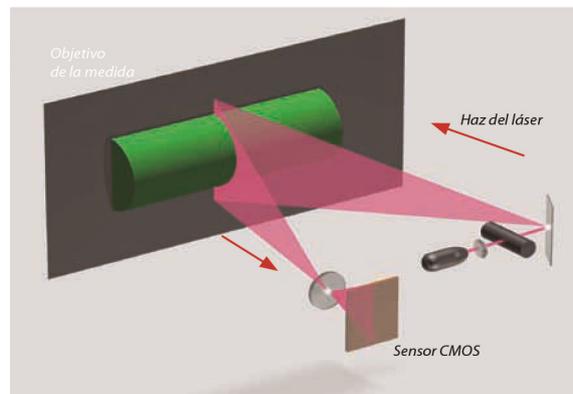


Figura 1.2.3.1: Funcionamiento del láser escáner

Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. La longitud de un lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser es conocida. El ángulo del vértice del emisor de láser se sabe también. El ángulo del vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara.

Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio.

- El método de **triangulación óptica mediante luz estructurada**, proyecta un patrón de luz sobre el objeto o escena, ya sea puntos, líneas, rejillas o franjas, donde posteriormente una cámara compara la imagen del patrón sin distorsión con la imagen del patrón deformado por la geometría de la escena.

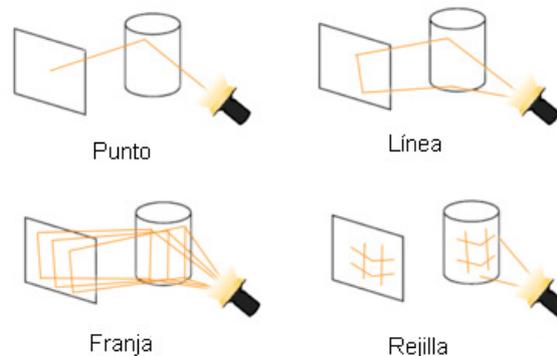


Figura 1.2.3.2: Tipos de patrones de luz

El patrón de iluminación capturado varía según el haz de luz que se utilice. Para la mayoría de las situaciones un solo escaneo no producirá un modelo completo del objeto. Generalmente se necesitarán múltiples escáneres, desde diferentes direcciones, para obtener la información tridimensional completa (barrido).

La triangulación consiste en obtener la situación de un punto en relación a la situación de la cámara y el plano.

Si se conoce la distancia de la cámara a un punto del objeto, que será la base del triángulo (d), la distancia entre la cámara y el láser, uno de los lados (D), y el ángulo del plano del láser (α), se puede conocer las coordenadas tridimensionales de dicho punto (p).



Figura 1.2.3.3: Geometría por triangulación

Pero para ello, es necesario conocer las posiciones en el espacio tanto de la cámara como del plano láser, por lo que será necesario, un proceso de calibración de ambos sistemas.

La principal ventaja de los escáneres 3D de luz estructurada respecto a que utilizan un haz láser, es la velocidad.

En lugar de escanear un punto en cada secuencia y tener que recorrer el objeto por toda su superficie tomando una gran cantidad de información y, como consecuencia, poder perder algunas zonas de éste; se escanean múltiples puntos o el campo de visión completo inmediatamente. Esto reduce o elimina el problema de la deformación por movimiento.

Reconstrucción y Modelado

Como resultado del barrido sobre una superficie se obtiene una nube de puntos que nos aporta la información 3D. Las nubes de puntos producidas por estos aparatos pueden ser utilizadas directamente para la medición y la visualización.

El proceso de convertir una nube de puntos en un modelo poligonal 3D se llama reconstrucción.

Existen técnicas de reconstrucción y métodos de mallado 3D cuyo objetivo principal es obtener un algoritmo que sea capaz de realizar la conexión de puntos adyacentes mediante líneas rectas con el fin de crear una superficie continua.

A priori, los algoritmos que trabajan con nubes de puntos, tratan de obtener una matriz de unión. Esta matriz (A), almacena qué puntos del conjunto inicial deben estar conectados entre sí. Si se emplean triángulos, ésta matriz tiene la forma de $3 \times n$ (siendo n el número total de triángulos que contiene la pieza), es decir que cada fila de la matriz representa un triángulo en el plano o en el espacio.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ : & : & : \\ : & : & : \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} \end{pmatrix}$$

La eficiencia del algoritmo es la que define la calidad final del mallado. Si suponemos un conjunto de puntos mal representado, existirán puntos definidos que no cumplan las condiciones óptimas para el mallado.

Los puntos que se encuentran muy cercanos entre sí, los puntos ruidosos y los puntos redundantes, no ofrecen ninguna información para la reconstrucción.

1.2.4 TRIANGULACIÓN DELANUAY

La cartografía digital pasa necesariamente por la formación de modelos matemáticos que contemplen una superficie continua, definida de forma funcional, y que se aproxime de la mejor forma posible a la superficie real a representar. Un modelo digital constituye una representación numérica de la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

Para la generación de un modelo digital es importante tener en cuenta la adquisición de datos, que al fin y al cabo será una nube de puntos con coordenadas tridimensionales (x, y, z), que representen de manera fiel la superficie a representar.

Esta nube de puntos, con distribución totalmente irregular, serán los datos de partida, cuyo procesamiento mediante algoritmos de cálculo, se utilicen para la formación del modelo digital. De esta forma, la superficie real se puede aproximar a una superficie matemática discreta formada por superficies elementales planas triangulares, y que se definen a partir de los puntos de coordenadas tridimensionales.

Los algoritmos que se utilizan para la formación de la malla de triángulos irregular, se basan fundamentalmente en la triangulación de Delaunay; pues se trata de una estructura computacional, que permite la construcción de una triangulación óptima para la representación.

Estos algoritmos, cumplen los condicionantes computacionales y geométricos, donde los triángulos son lo más regulares posibles, la longitud de los lados de los triángulos es mínima, y la triangulación formada es única, dando lugar a la red irregular de triángulos que aparentemente ofrece una imagen más fiel del objeto, y que permite una interpolación coherente entre los valores de altitud de cada uno de los puntos o vértices.

La geometría computacional se define como el estudio de algoritmos y estructuras de datos eficientes para la resolución de problemas geométricos, y que se ocupa del desarrollo de aplicaciones mediante algoritmos óptimos y librerías geométricas. Trata de obtener el algoritmo más óptimo y de menor complejidad posible.

Una triangulación de una nube de puntos del plano es una familia de triángulos de interiores disjuntos cuyos vértices son puntos de la nube y en cuyo interior no hay ningún punto de la nube. Puede obtenerse una triangulación añadiendo segmentos rectilíneos que unan puntos de la nube que no atraviesen a los segmentos considerados anteriormente.

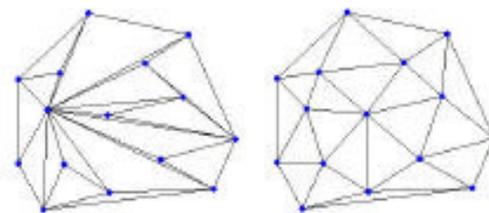


Figura 1.2.4.1 Triangulaciones de una misma nube de puntos

Parece más lógica la triangulación que forme los "triángulos más regulares", que aparentemente nos dará una imagen más fiel del sujeto real. De esta forma llegaremos a la *Triangulación de Delaunay*.

En general, para una nube de " n " puntos existe una cantidad de triangulaciones que depende exponencialmente de " n ". Cuando " n " sea medianamente grande, el número de triangulaciones es lo suficientemente elevado como para que ningún ordenador, por sofisticado que sea, pueda calcularlas todas.

Encontrar una triangulación de una nube de puntos viene determinado por un problema de interpolación: Dada una nube de puntos (denominamos " S ") de los que se conoce su altitud o cota, querríamos deducir cual es la altura de un nuevo punto sin necesidad de efectuar nuevas mediciones. El problema se resuelve

encontrando una triangulación que tenga a los puntos de "S" como vértices, ya que una vez conseguida dicha triangulación, a un punto le podemos suponer con mucha aproximación la altura proporcional de los vértices del triángulo en el que se encuentra, esta es la técnica llamada de interpolación lineal. Para que esta técnica sea efectiva, los triángulos han de ser lo más equiláteros posible.

Así, en realidad lo que se pretende es, que entre todas las triangulaciones definidas sobre una nube de puntos, encontrar aquella tal que el menor ángulo definido sea máximo.

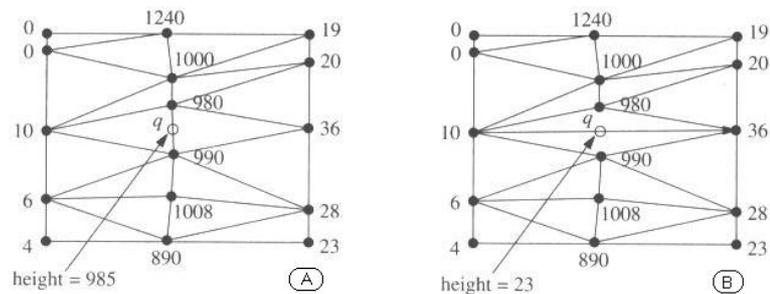


Figura 1.2.4.2 Ejemplo de cambio de lados en una triangulación

Por regla general, interesa que, puntos cuyas proyecciones son puntos próximos, estén conectados por aristas de la superficie poliédrica.

Dada una nube de puntos del plano, hallar una triangulación en la que los triángulos sean lo más regulares posible.

Se trata de obtener una triangulación óptima, que permita una interpolación coherente entre los valores asociados a cada uno de los vértices; y así construir una red de triángulos irregulares (TIN), para la generación de modelos digitales de elevación.

Una triangulación $T1$, es mejor que otra $T2$, cuando el menor ángulo de los triángulos de $T1$ es mayor que el menor ángulo de los triángulos de $T2$. Es decir, la triangulación óptima, es la que maximiza el ángulo mínimo de los triángulos.

Caracterización de la triangulación de Delaunay: Sea $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ un conjunto de puntos en el plano, una triangulación de Delaunay de P cumplirá las siguientes propiedades:

- Tres puntos p_i, p_j y p_k pertenecientes a P son vértices de la misma cara de la Triangulación de Delaunay de P , si y solamente si, el círculo que pasa por los puntos p_i, p_j y p_k no contiene puntos de P en su interior.
- Dos puntos p_i y p_j pertenecientes a P forman un lado de la Triangulación de Delaunay de P , si y solamente si, existe un círculo que contiene a p_i y p_j en su circunferencia y no contiene en su interior ningún punto de P .

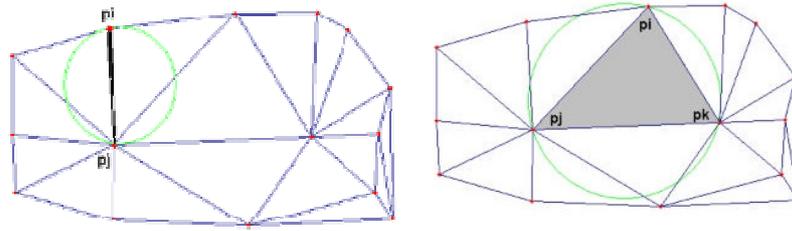


Figura 1.2.4.3 Propiedades de la triangulación de Delaunay

Una arista de un triángulo de una triangulación es incorrecta, si al cambiarla, aumenta el ángulo mínimo de los triángulos adyacentes. A esta arista se la denomina arista ilegal.

Cuatro puntos en posición convexa tienen dos posibles triangulaciones. Aquella triangulación en la cual los círculos circunscritos están vacíos, es decir, no contienen en su interior al cuarto punto, es la que tiene un vector de ángulos mayor. A la operación que consiste en sustituir una diagonal por la otra en un cuadrilátero se le denomina intercambio de aristas. Se dice que es un “flip” cuando mejora el vector de ángulos.

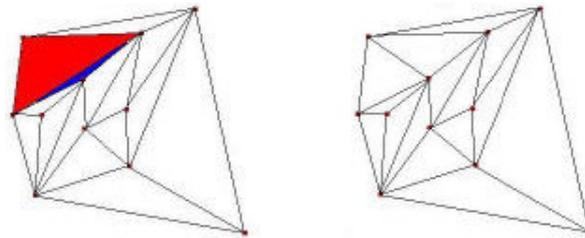


Figura 1.2.4.4 Intercambio de aristas

CAPITULO 2; SOFWARES

2.1. PROGRAMAS UTILIZADOS

Encontramos varios tipos de programas según la necesidad de trabajo:

- Procesado
- Post-procesado
- Visualización
- Impresión
- Finalización
- Industrialización

Los programas de **procesado** y **postprocesado** más comunes son 2) Rapidform XOR, Rapidform XOS y Artec-Studio. Con estos programas se visualiza en la pantalla la progresión de escaneado del objeto y se transforma la nube de puntos en mallas para su posterior proceso (crea archivos *.stl*)

Como programas de **postprocesado** y **visualización** de los modelos obtenidos se han utilizado 1) Meshlab, Rapidform Explorer, 3)123 Catch Autodesk y 4) Rhinoceros 3D (convierte archivos *.stl* a *.dxf* para utilizar en programas de finalización).

Por otro lado, para la **impresión** de modelos tenemos los programas que convierten archivos *.stl* en impresiones físicas.

Será necesario un programa CAD para el proceso de **finalización** e **industrialización** del objeto trabajado. Un programa CAD (*Computer-aided design*) es un programa de diseño asistido por ordenador con el que se podrá trabajar con archivos *.dxf*.

A continuación se muestra una breve descripción de los softwares a los que hemos podido tener acceso:

1) Meshlab

Software de postproceso que crea una simulación de malla; crea el modelo 3D pero no desde una conversión de malla si no desde la superposición de imágenes 2D.

Es un programa de código libre que sirve para la edición y reparación de figuras tridimensionales con estructura de malla.

Ofrece cinco modos de visualización así como el manejo mediante capas. Además cuenta con diversas funciones y herramientas como la edición, limpieza, inspección, prestación y conversión de este tipo de mallas.

El sistema se apoya en la librería pública VGC para ejecutar las tareas de procesamiento de mallas '*vsg.sf.net*', y su objetivo principal es ayudar y facilitar el tratamiento de modelos no estructurados de gran tamaño que provengan de un escaneo 3D.

Este programa está enfocado más bien a la modificación de figuras creadas por otros medios.

2) Rapidform XOR

Rapidform XOR es un software de postproceso que adapta ficheros a *.dxf* o *.cad*. Además es el programa de ingeniería inversa más recomendable para trabajos con operaciones sobre nubes de puntos, mallas, mallas texturizadas, curvas y superficies en un entorno integrado.

Tiene un asistente de construcción de malla (*Mesh Buildup Wizard*) que procesa nubes de puntos brutos y desalineados y las convierte en mallas completas y herméticas.

Ofrece un gran número de funciones de modelado y optimización como: herramientas de limpieza que eliminan fácilmente errores de escaneo, localización automática de la dirección del escaneo para grupos de datos desorganizados, reducción inteligente del tamaño del archivo, triangulación, alineación, unión con precisión de múltiples escaneados, etc.

3) 123 Catch Autodesk

Software de visualización que permite crear modelos 3D realistas partiendo únicamente de varias fotografías desde distintos ángulos al objeto del que queremos obtener su representación en tres dimensiones.

Su sistema de funcionamiento se basa en el uso de servidores de la propia *autodesk* para procesar la información recogida en las distintas fotografías realizadas para la generación del modelo 3D.

Mediante 123 Catch Autodesk, se cargan todas las imágenes realizadas, las cuales se suben a un servidor de forma temporal, donde son procesadas. Minutos después devuelve un modelo 3D real que será necesario georeferenciar y escalar.

4) Rhinoceros 3D

Programa de postproceso que consigue información paramétrica de la malla.

No es un programa de código libre, aunque es posible descargarse la versión de evaluación totalmente funcional que permite guardar la información hasta 25 veces. Después seguirá funcionando como visor de archivos de Rhino y de otros formatos. La instalación completa requiere un código de licencia.

Es una herramienta gráfica de software para modelado en tres dimensiones basado en NURBS (modelo matemático muy empleado para construir objetos de alto grado de realismo). Es capaz de crear, editar, renderizar, analizar y traducir curvas NURBS, superficies y sólidos en cualquier sistema Windows.

Es realmente muy utilizado debido a la variedad de formatos para la importación y exportación de los archivos.

Presenta una web¹¹ con una amplia explicación de sus comandos, información sobre cursos de formación para su uso y muchos enlaces de interés para usuarios profesionales.

¹¹ <http://www.rhino3d.com/es/>

• COMPARATIVA DE COMANDOS

Procedemos a realizar una comparativa de herramientas comunes en los programas de postproceso MeshLab, Rapidform Explorer y Rhinoceros 3D;

- Selección y limpieza de puntos
- Visualización de la figura por puntos, malla o sólido
- Iluminación
- Variación de la figura sobre los ejes de coordenadas

En todas las comparativas se incluyen los tipos de ficheros sobre los que se puede trabajar, las diferentes herramientas de movimiento espacial de la figura y mediciones en el modelo.

2.1.1 MESHLAB – 123 CATCH AUTODESK

MESHLAB

Como se ha comentado Meshlab es un software que entre otras operaciones permite el postproceso para el tratamiento de las nubes de puntos. Una de sus ventajas es que es gratuito y permite trabajar sobre archivos de muchos tipos:

```
All known formats (*.3ds *.ply *.stl *.obj *.qobj *.off *.ptx *.vmi *.bre *.dae *.v3d *.pts *.apts *.xyz *.gts *.pdb *.tri *.asc *.x3d *.x3dv *.wrl *.aln)
3D-Studio File Format (*.3ds)
Stanford Polygon File Format (*.ply)
STL File Format (*.stl)
Alias Wavefront Object (*.obj)
Quad Object (*.qobj)
Object File Format (*.off)
PTX File Format (*.ptx)
VCG Dump File Format (*.vmi)
Breuckmann File Format (*.bre)
Collada File Format (*.dae)
Epoch Reconstructed mesh (*.v3d)
Expe's point set (binary) (*.pts)
Expe's point set (ascii) (*.apts)
XYZ point with normal (*.xyz)
GNU Triangulated Surface (*.gts)
Protein Data Bank (*.pdb)
TRI (photogrammetric reconstructions) (*.tri)
ASC (ascii triplets of points) (*.asc)
X3D File Format - XML encoding (*.x3d)
X3D File Format - VRML encoding (*.x3dv)
VRML 2.0 File Format (*.wrl)
ALN project (*.aln)
```

Figura 2.1.1.1. Archivos aceptados por el programa Meshlab



Para trabajar sobre la nube y editar la triangulación, podemos seleccionar regiones rectangulares de caras de triángulos, regiones conectadas de caras de triángulos y regiones rectangulares de puntos.

Si seleccionamos una zona directamente estaremos eligiendo la parte vista de la figura además de la parte no vista; para evitar esto y solo seleccionar la zona que se visualiza deberemos pulsar *Alt* durante la selección. Éstas, pueden trabajarse

añadiendo una selección tras otra (presionando *Ctrl* cada vez) o deseleccionando anteriores (presionando *Shift* en cada tramo que deseamos eliminar).



Podemos elegir el tipo de visualización que deseamos: nube de puntos, triangulación completa, triangulación de la cara vista o tipos de sólidos.



Con estas regiones podemos eliminar¹² vértices o caras de triángulos. Según la vista que estemos utilizando podremos ver la zona eliminada o no y comprobar si hemos eliminado toda la información o solo parte de ella. Además cuando se selecciona alguna zona de la figura se muestra un panel donde se especifica el número de vértices y caras que se han seleccionado.

Podemos seleccionar que tengamos iluminación¹³ o no y además elegir su punto de incidencia presionando *Ctrl+Alt*.

Es posible variar los colores de la iluminación para resaltar algún aspecto de la figura que se está realizando.

La posibilidad de utilizar diferentes filtros como limpiar¹⁴ información repetida, nula o que no se utiliza para ciertos análisis, la cual facilita la liberación de peso de la figura tratada.

Existe una barra de diálogo donde se muestra ésta información y desde la que se pueden introducir otros comandos.

También ofrece la posibilidad de crear distintas capas, visualizarlas u ocultarlas, y bloquearlas.

La figura que se trabaja se puede rotar, trasladar y escalar en referencia al eje de coordenadas¹⁵, ya sea alinear la figura respecto al eje principal, mover y/o trasladar los ejes, rotar los ejes: donde se especifica si la rotación se realiza respecto a X, Y o Z; o sobre un eje personalizado, desde qué punto se realiza dicha rotación y de cuántos grados queremos que sea.

Además podemos consultar medidas¹⁶ de la figura trabajada.

¹² Consultar vídeo de limpieza: anexos/tutoriales/Meshlab/2.1.1 Seleccion-eliminar

¹³ Consultar vídeo de iluminación: anexos/tutoriales/Meshlab/2.1.2 Iluminación

¹⁴ Consultar vídeo de filtrado: anexos/tutoriales/Meshlab/2.1.3. Filtros-limpiar

¹⁵ Consultar vídeo de introducción de ejes: anexos/tutoriales/Meshlab/2.1.4. Eje coordenadas

¹⁶ Consultar vídeo de medidas: anexos/tutoriales/Meshlab/2.1.5. Medición

123 CATCH AUTODESK

Por otro lado el programa 123 CATCH AUTODESK trata de crear un modelo 3D a partir de imágenes tipo:

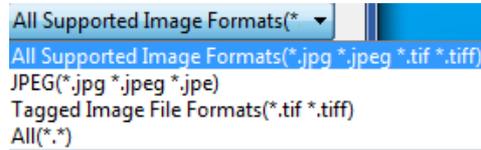


Figura 2.1.1.2. Archivos aceptados por el programa 123 Cath Auodesk

La creación del modelo 3D consiste en cargar al programa todas las fotos realizadas desde los distintos ángulos (en nuestro caso han sido un total de 73 fotografías) y, una vez recibido el fichero al correo especificado, descargarlo para poder empezar a trabajar sobre él.

Las opciones¹⁷ con este programa son:

- Visualizar las posiciones de cada una de las fotografías.
- Realizar animaciones con un recorrido fotográfico elegido.
- Crear mediciones, georeferenciar y mostrar herramientas básicas de visualización de la malla.
- Modificar la calidad de la malla ya sea:
 - Móvil: Proceso rápido para resolución media de mallado. Adecuado para su visualización desde dispositivos móviles.
 - Estándar (Recomendada): Alta resolución de la textura de la malla. Adecuado para su visualización desde PC.
 - Máxima: Ofrece un mallado de alta densidad. Adecuado para la manipulación en aplicaciones externas. Esta opción hace que se incremente el tiempo del proceso de la malla.



Figura 2.1.1.3: Distintas calidades del mallado

¹⁷ Consultar vídeo de utilización del programa: [anexos/tutoriales/123Catch/2.1.6. Creación 3D](#)
 Consultar vídeo de utilización del programa: [anexos/tutoriales/123Catch/2.1.7. Mejora](#)

La opción de georeferenciación¹⁸ es muy útil ya que podemos colocar nuestro eje de coordenadas donde nos convenga después de haber definido los puntos de interés. En nuestro caso, al ser una figura con líneas curvas es difícil crear puntos en vértices, ya que no se dispone de aristas o zonas de fácil localización, pero aún y así se ha podido crear un eje de coordenadas referido a la figura.

Hemos escogido la calidad de mallado máxima. Ésta no devolvió una figura más nítida, ya que al cerrar los huecos que existían en el primer modelo, se obtuvo una figura más continua pero deformada e irreal.

Debemos tener la precaución de realizar las máximas fotos desde todos los puntos de vista para que se pueda crear el proyecto con la mayor exactitud posible. El programa no tendrá en cuenta las imágenes defectuosas u oscuras para crear la nueva imagen.

Nombre	Características semejantes	Principales diferencias
MESH LAB	<ul style="list-style-type: none"> * Software gratuito * Opción de manipulación del eje de coordenadas 	<ul style="list-style-type: none"> * Trabajo sobre objeto 3D de medidas reales * Se trata de una nube de puntos triangulada y procesada
123 CATCH AUTODESK	<ul style="list-style-type: none"> * Funciones y herramientas de visualización * Devolverá huecos en las zonas donde no ha habido superposición de imágenes 	<ul style="list-style-type: none"> * Trabajo sobre modelo 3D * Programa de visualización * A partir de fotografías crea un modelo 3D, el cual no tiene medidas reales. Se pueden definir distancias de referencia para poder obtenerlas.

Tabla 2.1.1.1 Comparativa Meshlab – 123 Catch Autodesk

Como se observa en la tabla 2.1.1.1 existen semejanzas y diferencias entre estos softwares. La principal semejanza son los comandos de edición y la forma en que se representa la figura.

Como diferencias principales podemos diferenciar el tipo de información que trata cada programa. Meshlab trata nubes de puntos y 123 Catch Autodesk trata imágenes sobre las que representa una malla.

¹⁸ vídeo de utilización del programa: anexos/tutoriales/123Catch/2.1.8 Georeferenciación
<http://www.youtube.com/watch?v=yD1FV-cFzYE>

Además, Meshlab es un programa destinado a un análisis minucioso del objeto trabajado y con muchas más opciones de herramientas que 123 Catch Autodesk, cuyas herramientas que se pueden utilizar son mucho más limitadas.

2.1.2. RADPIDFORM - MESHLAB - RHINOCEROS 3D

RAPIDFORM EXPLORER

Software de postproceso que adaptan ficheros a .dxf o .cad.

Cabe destacar, que el software de Rapidform Explorer, proporcionado por la empresa AsorCad, únicamente es un visualizador en el que se pueden realizar pequeñas ediciones. Para poder desempeñar herramientas más avanzadas es necesaria la compra de la licencia de *Rapidform XOR*.

Con el programa RAPIDFORM podemos trabajar sobre archivos tipo:

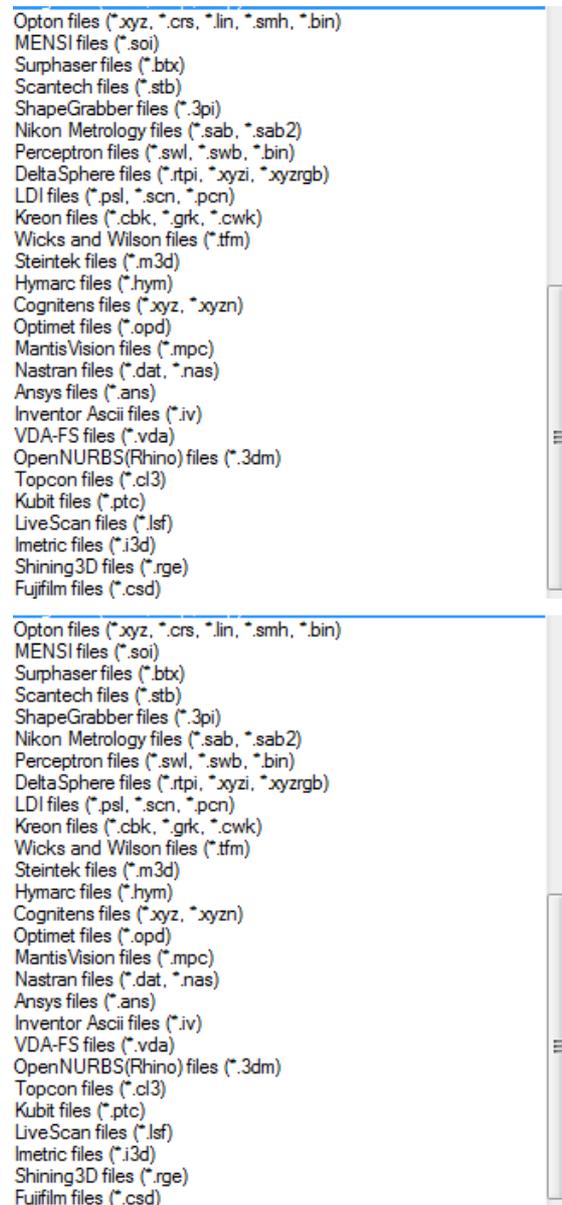


Figura 2.1.2.1. Archivos aceptados por el programa Rapidform

Como podemos observar es el programa que más tipos de archivo permite, lo que lo convierte en un potente programa de conversión.

Para la limpieza de puntos del modelo escaneado es necesario usar el programa Rapidform XOR:

Las mallas importadas suelen venir con mucho ruido y sobretodo agujeros que hace falta rellenar. Una función casi siempre utilizada se llama *REWRAP*. Lo que hace es remallar completamente la malla rellenando todos los huecos que quedan. Genera una malla en los exteriores que luego hay que eliminar. A la vez este comando ya suaviza y quita mucho ruido del digitalizado.

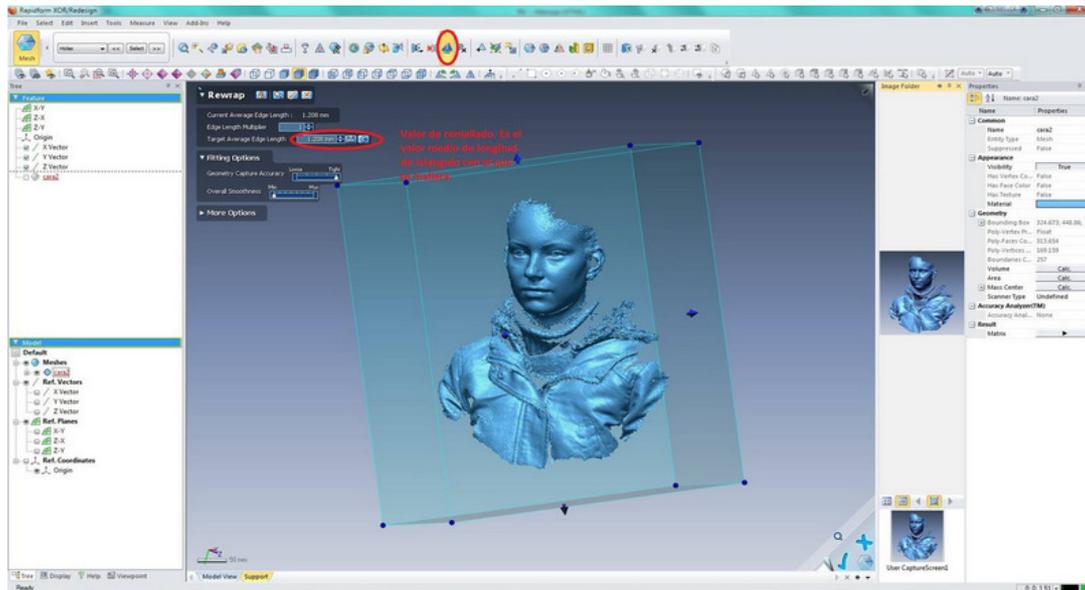


Figura 2.1.2.2 Figura después de la limpieza de ruido

Después de la utilización del comando *REWRAP* con valor de 1mm, la figura tendrá el aspecto de haber colocado una tela sobre ella, consiguiendo así el relleno de todos los huecos.



Figura 2.1.2.3. Figura después del comando *REWRAP*

Para continuar rellenando agujeros que no haya conseguido hacer bien el comando anterior se utiliza la herramienta *FILL HOLES*.

Podemos suavizar total o parcialmente la malla con el comando: *SMOOTH*. Finalmente se puede utilizar *SMART BRUSH* para realizar operaciones de suavizado manual con un pincel. Con este comando se retocan las cosas más puntuales.

Todo el borde exterior se borra manualmente seleccionándolo y eliminándolo con el *SUPR* del teclado.

A veces se suele utilizar el comando *DECIMATE* para reducir cantidad de triángulos allí donde no son necesarios. Por ejemplo donde más triángulos se reducen es en las zonas más planas y de menos curvatura. Así conseguimos un fichero con casi el mismo grado de definición pero menos pesado en cuanto a tamaño.

Para el resto de herramientas podemos utilizar el programa gratuito de visualización Rapidform Explorer.



Se puede visualizar¹⁹ la malla a partir de un conjunto de puntos, de un conjunto de triángulos, mediante sombreado de los puntos o sombreado de los triángulos.

Además es posible su visualización²⁰ según distintas perspectivas: Así como la medición de distancias, ángulos, radios, secciones, áreas y volúmenes.



Podemos añadir hasta cuatro luces²¹ ubicadas en la perspectiva deseada, en las que podemos cambiar sus propiedades entre las que se incluye el color de éstas.

El eje de coordenadas²² es fijo y no podemos realizar ningún cambio sobre él, podemos rotar la figura y conseguiremos que el eje rote con ella.

Además hemos utilizado este programa para comparar la triangulación obtenida en los dos modelos creados con los aparatos ExaSCAN y Go!SCAN respectivamente.

Como se observa en la *figura 2.1.2.4.*, con ExaSCAN obtenemos una triangulación más irregular pero más detallada y exacta de la figura, aunque se necesita de más tiempo de barrido ya que el área de escaneado es mucho más reducida y hay más posibilidades de que existan huecos si no se tiene precaución en la toma de datos.

Por el contrario, Go!SCAN, devuelve una malla de triángulos muy uniforme y regular pero que no se adapta tan bien a la figura, por ello tiene menos resolución y por tanto exactitud respecto al modelo real. La ventaja es que dispone de un área de escaneado más amplia con lo que el tiempo de digitalización es mucho más corto,

¹⁹ Consultar vídeo de visualización: [anexos/tutoriales/Rapidform/ 2.2.1 Tipos de visualizaciones](#)

²⁰ Consultar vídeo de visualización: [anexos/tutoriales/Rapidform/ 2.2.2 Perspectivas-mediciones](#)

²¹ Consultar vídeo de iluminación: [anexos/tutoriales/Rapidform/ 2.2.3 View-luces](#)

²² * Consultar vídeo de visualización de ejes: [anexos/tutoriales/Rapidform/ 2.2.4 Ejes](#)

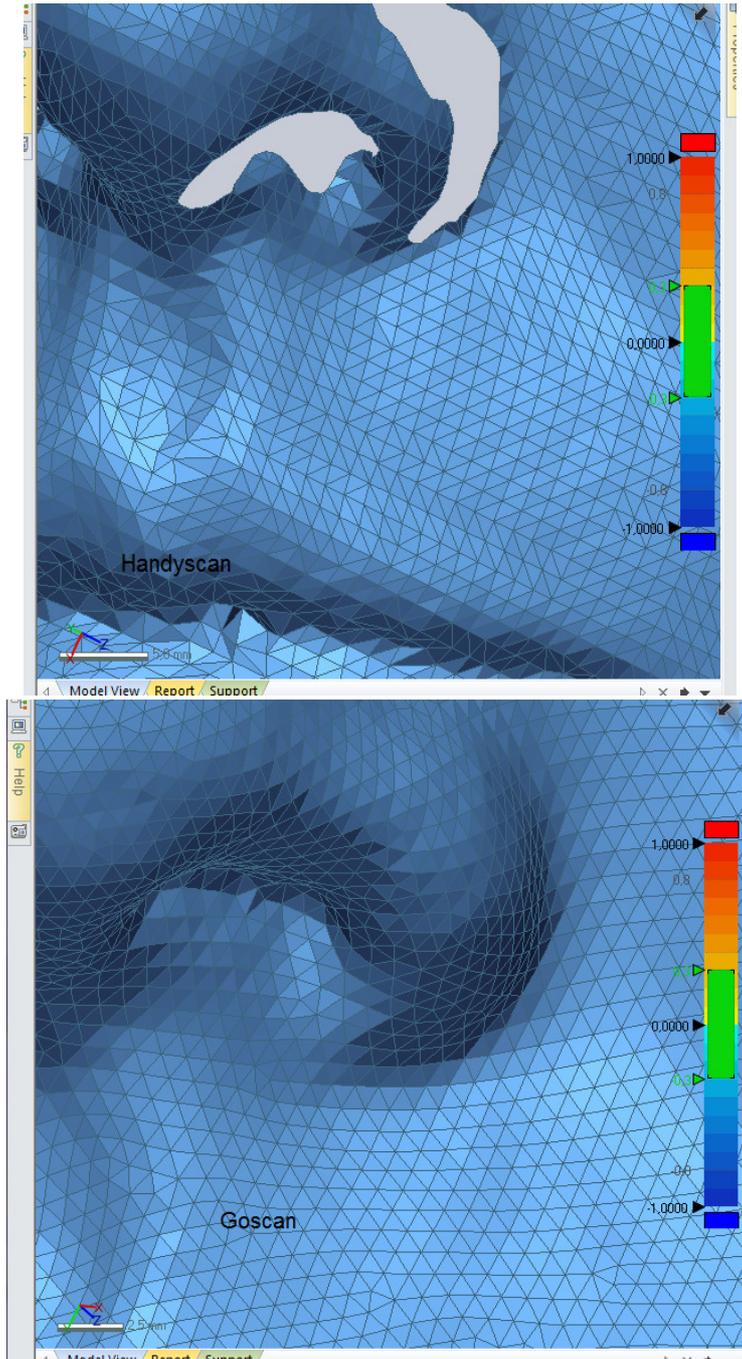


Figura 2.1.2.4. Detalle de la triangulación y el suavizado obtenido por el instrumental y tratamiento con el software.

RHINOCEROS 3D

Consigue información paramétrica de la malla.

Mediante el programa RHINOCEROS 3D podemos trabajar sobre diferentes archivos.

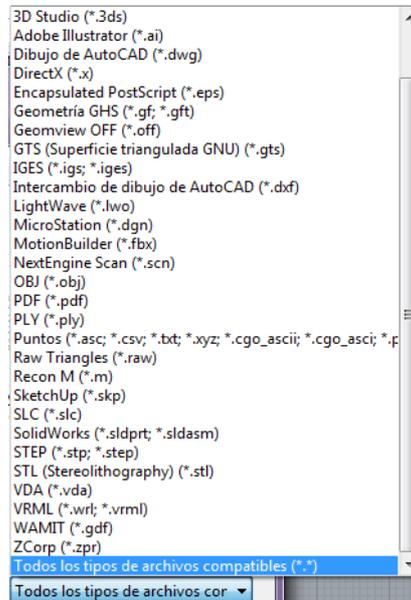


Figura 2.1.2.5. Archivos aceptados por el programa Rhinoceros 3D

Este programa permite visualizar más de una vista a la vez, o una única vista seleccionando con el cursor la que se desea. Es posible aplicar la selección de la herramienta a una única vista o a todas las vistas.



Se puede representar la malla a través de polígonos o triángulos, según el sombreado de éstos triángulos, en modo sombreado, en modo renderizado y en modo semitransparente.

Además es posible su visualización²³ según distintas perspectivas o vistas: _

Como en el resto de programas de mallas, se pueden añadir luces para la iluminación²⁴ del modelo en distintas perspectivas.



Así como crear distintos tipo de luces: un foco de luz, luz puntual, luz direccional, luz rectangular y luz lineal; así como editar las propiedades de la luz en las que se incluye el color.

Podemos trabajar los ejes²⁵ y variar la malla según nos interese; también existe la opción tomar medidas de la figura.

²³ Consultar vídeo de Visualización de vistas: [anexos/tutoriales/Rhino/ 2.2.5 Vistas](#)

Consultar vídeo de limpieza: [anexos/tutoriales/Rhino/ 2.2.6 Limpieza](#)

²⁴ Consultar vídeo de iluminación: [anexos/tutoriales/Rhino/ 2.2.7 Iluminación](#)

COMPARATIVA

Observamos en la *tabla 2.1.2.1* la principal semejanza entre programas son los comandos de edición y la forma en que se representa la figura.

Como diferencia principal apuntaríamos a la poca libertad de edición que aporta Rapidform Explorer frente a la amplia variedad de comando de los otros dos softwares.

Nombre	Características semejantes	Principales diferencias
MESHLAB	* Trabajo con luces y sombreados	* Apoyo en la librería pública VGC * Opción de eliminar caras de triángulos, vértices o ambas
RAPIDFORM EXPLORER	* Opciones de medida sobre objeto * Funciones de visualización	* Operaciones sobre nubes de puntos * Más de una vista a la vez * Asistente de construcción de malla
RHINOCEROS 3D	* Funciones y herramientas de modelado	* Más de una vista a la vez * Utilización de comandos

Tabla 2.1.2.1: Comparativa Meshlab – Rapidform – Rhinoceros 3D

²⁵ Consultar vídeo de ejes y mediciones: [anexos/tutoriales/Rhino/ 2.2.8 Ejes y mediciones](#)

CAPITULO 3; ANÁLISIS

3.1 APARATOS

Nombre	Virtudes	Defectos	Precisiones
EXASCAN	<ul style="list-style-type: none"> * Manejabilidad del aparato * Velocidad en la toma de datos * Capacidad de obtener datos en casos de mala iluminación * Incorpora su propio sistema de posicionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Toma franjas de datos pequeñas * Necesidad de colocar reflectores ópticos para crear un sistema de referencia "fijado" al objeto * Baja seguridad ocular, es necesario proteger la zona 	<ul style="list-style-type: none"> * Precisión hasta 0.040 mm * Resolución 0.050 mm * Exactitud volumétrica 0.020 mm+0.100 mm/m
GO!SCAN	<ul style="list-style-type: none"> * Manejabilidad del aparato * Velocidad en la toma de datos * Posibilidad de mover el objeto durante la digitalización. Dispositivo de posicionamiento automático * Toma franjas de datos amplias por la proyección de la malla 	<ul style="list-style-type: none"> * Necesidad de tener buena iluminación en la zona de trabajo * Menor precisión, por lo que la imagen obtenida tendrá más zonas sin información (agujeros o huecos) 	<ul style="list-style-type: none"> * Precisión hasta 0.100 mm * Resolución 0.500 mm * Exactitud volumétrica 0.300 mm/m
PENTACAM	<ul style="list-style-type: none"> * Rapidez en la toma de una imagen de la cara anterior del ojo (max. 2") * Cualquier movimiento del ojo será captado y corregido por una segunda cámara * Software de examen de datos sencillo 	<ul style="list-style-type: none"> * No puede medir nada que no sea ópticamente visible * Necesidad de trabajar en una zona oscura para evitar reflejos 	<ul style="list-style-type: none"> * Resolución entre puntos medidos 100µm * Ajustes de resolución en los mapas de colores (entre 2.5µm y 25µm)
ORBSCAN	<ul style="list-style-type: none"> * Permite medir distancias sobre el ojo * Examen rápido * Análisis de amplias áreas de la córnea * Software de examen de datos sencillo 	<ul style="list-style-type: none"> * Presupone forma esférica de la córnea * No mide la altura de cada punto * Información sobre número limitado de puntos * No da suficiente información sobre la córnea central * Los factores externos y movimientos del ojo pueden producir errores en las medidas 	<ul style="list-style-type: none"> * Las córneas con anomalías de curvatura pueden ser representadas con la precisión de micrómetro

Tabla 3.1.1: Resumen de características de los aparatos

Como conclusión en el análisis de los aparatos de escáner 3D, podemos destacar que ambos son de fácil manejo y rápidos en la toma de datos.

Las precisiones de cada aparato no dan lugar a que uno sea mejor que otro, solo hace que se pueda diferenciar mejor el ámbito en el que se le puede sacar mejor partido a cada uno de ellos. Es decir, su elección vendrá dada por el tipo de aplicación.

Pese a que el aparato de luz láser es más preciso que el de luz blanca, este último es más recomendable para el uso médico básicamente por la inexistencia de riesgo ocular del paciente.

Por otro lado, los topógrafos corneales, podemos concluir que, pese a no utilizar técnicas topográficas para su toma de datos, utilizan técnicas de fácil entendimiento para profesionales ajenos a la oftalmología. Aunque para poder interpretar resultados y ofrecer diagnósticos si es necesario ser un profesional de este sector sanitario.

Podemos diferenciar la capacidad de análisis más profunda de Orbscan pese que, como en el caso de los escáneres 3D, esto hace que se diferencien los campos de uso de cada uno.

3.2 PROGRAMAS

Nombre	Virtudes	Defectos
MESH LAB	<ul style="list-style-type: none"> * Software gratuito * Facilidad de manipulación de datos * Múltiples opciones de visualización * Tratamiento de las nubes de puntos * Medidas reales (<i>mm</i>) * Opciones de iluminación para mejor visualización * Rectificación de la posición inicial del eje de coordenadas con respecto al objeto 	<ul style="list-style-type: none"> * Trabaja sobre tipos de archivos de puntos muy limitados
RAPIDFORM	<ul style="list-style-type: none"> * Software gratuito (RAPIDFORM EXPLORER) * Trabaja sobre gran variedad de tipos de archivos * Opciones de iluminación * Medidas reales (<i>mm</i>) * Múltiples opciones de visualización 	<ul style="list-style-type: none"> * Necesidad de disponer del software de pago (RAPIDFORM XOR) para poder trabajar con más detalle los objetos * Conversión de ficheros a <i>.dxf</i> o <i>.cad</i> * Eje de coordenadas fijo
RHINOCEROS	<ul style="list-style-type: none"> * Software parcialmente gratuito * Opciones de iluminación * Múltiples opciones de visualización * Rectificación de la posición inicial de la malla * Rectificación de la posición inicial del eje de coordenadas con respecto al objeto * Consigue información paramétrica de la malla 	<ul style="list-style-type: none"> * Complejidad de uso * Trabaja sobre tipos de archivos de puntos muy limitados
123CATCH AUTODESK	<ul style="list-style-type: none"> * Software gratuito * Programa de visualización * Posibilidad de georeferenciar y escalar * Sencillez de uso del programa 	<ul style="list-style-type: none"> * Solo trabaja sobre archivos imagen

Tabla 3.1.1: Análisis de programas

Los tipos de programas para la edición de los objetos obtenidos son variados y con diferentes cualidades.

Para la edición básica y visualización de las imágenes 3D todos los softwares ofrecen las mismas opciones:

- Visualización del objeto con nube de puntos, triangulación o sólido.
- Selección y limpieza de puntos.
- Variaciones en la iluminación.
- Cambio en los ejes de coordenadas.

Si se desea profundizar más en la edición de las figuras, los programas que más opciones dan son Meshlab y Rhinoceros; a pesar de que como ya se ha comentado anteriormente, éste último ofrece un uso gratuito limitado.

BLOQUE 3

1. CONCLUSIONES

Se han cumplido las expectativas iniciales del proyecto ya que se han realizando pruebas en los diferentes campos de interés, empelando diferente instrumental y programas para el tratamiento de los datos.

El campo oftalmológico, al contrario de lo que creíamos en un principio, es el más alejado al concepto de topografía como tal, aunque se refieran explícitamente al término "topografía corneal". En la adquisición de datos y posterior procesado no se utilizan métodos topográficos, únicamente se podría relacionar por el tipo de mapas analizados, ya que son mapas de alturas.

Por otro lado, el campo de la ortopedia y el cuerpo humano si tiene una relación directa con la topografía. La toma y procesado de datos sigue los mismos patrones que los utilizados comúnmente en nuestra área pero trabajando en cortos alcances y altas precisiones.

Hemos observado que los profesionales de este sector son, en su mayoría, expertos en muchas materias pero no en topografía. Nos parecería interesante cierta introducción de profesionales de nuestra rama en esta especialidad, ya que podrían aportar conocimientos útiles para el tratamiento de la información obtenida que podría revertir en una menor inversión de tiempo y mejora de la calidad de los productos.

2. AGRADECIMIENTOS

En el ámbito de la oftalmología hemos realizado un caso práctico con los topógrafos corneales: PENTACAM y ORBSCAN gracias al Dr. Canals, oftalmólogo de la clínica Corachán de Barcelona y al Dr. Costa, director médico de oftalmología. (<http://www.admiravision.es/es/centros/clinicas-oftalmologicas/centro/institut-oftalmologic-integral>):

- icosta@ioi.es (Director médico de oftalmología de la clínica Corachan)
- Dr. Marc Canals (oftalmólogo Corachan)

Por otro lado en el ámbito del cuerpo humano hemos realizado dos casos prácticos mediante escáner 3D: uno de ellos para la toma de datos utiliza luz blanca pulsada: GO!SCAN y el otro usa luz láser: EXASCAN gracias a la colaboración del equipo técnico de la ingeniería ASORCAD:

- info@asorcad.es, asanchez@asorcad.es (Director de la empresa AsorCAD)

Gracias a la colaboración de la empresa AQUATEKNIA, S.A. la cual nos facilitó más información que nos ayudó a resolver muchas dudas y aclarar conceptos:

- Luis Gómez; 3d01@aquateknica.com (Ingeniero de diseño industrial, área 3D)

Además contactamos con muchas empresas y profesionales del sector que nos facilitaron mucha información general y se ofrecieron para colaborar en el proyecto:

- www.vitronic.de/en/body-scanning
- <http://www.3dbodyscanning.org>
- <http://www.creaform3d.com/es>; Empresa líder en tecnologías de medición portátil 3D.
- <http://www.topcon-medical.es/es/>
- jfinat@agt.uva.es (Laboratorio de fotogrametría arquitectónica de la Universidad e Valladolid)
- Joan Carles Monlau (Hospital de Sant Pau, departamento de cirugía ortopédica y traumatología)

3. BIBLIOGRAFÍA

Buill, F; Núñez Andrés, M. Amparo; Rodríguez Jordana, Joan. Fotogrametría arquitectónica. Barcelona. Edicions UPC, 2007

Ferrández Portal, L. Actualizaciones en cirugía ortopédica y traumatología. Elsevier-Masson, 2006

López Davis, A.; Martín-Granizo López, Rafael. Cirugía Oral y Maxilofacial. Medica Panamericana, 2011

Satinder Pal, S.; Grewal, MD. Evaluación de patologías del segmento anterior usando Pentacam. HIGHLIGHTS of OPHTHALMOLOGY, 2011